



Tuetun kaivannon ankkurivoimien kehittymisen monitorointi

Load cell jännitysanturit

Patrik Thesleff

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

Patrik Thesleff

Tuetun kaivannon ankkurivoimien kehittymisen monitorointi.
Load cell anturit

Opinnäytetyö 58 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Huhtikuu 2014

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä load cell anturein varustettujen tuettujen tukiseinien toimintaan kahdella työmaalla.

Toisella työmaalla oli yhdeltä tasolta tuettu teräsponttiseinä ja toisella työmaalla maa-ankkurein ankkuroitu kaivinpaaluseinä. Työssä keskitytään tietojen keräämiseen load cell mittareista.

Ankkurivoimien tarkkailulla saadaan tietoa ankkureihin kohdistuvasta todellisesta voimasta, ja voiman kehittymisestä mittauksen aikana. Tätä tietoa voidaan käyttää suunnittelun ohjauksessa sekä parantamaan työturvallisuutta kaivannossa.

Asiasanat: load cell, tuettukaivanto, ankkurivoimat

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Construction Engineering
Civil Engineering

Patrik Thesleff
Monitoring Anchor Tension in Retaining Wall
Load cell -measuring

Bachelor's thesis 58 pages, appendices 4 pages
May 2014

Intention in this thesis was to study how anchor forces of retaining wall develop during construction. The forces were monitored with Load Cell -measurement devices on two different construction sites.

One of the building pits was supported with sheet pile wall and single level of tie-back rock anchors, other building pit was done with secant pile wall and ground anchors on multiple levels. The thesis focuses on analyzing the monitoring results.

By monitoring anchor forces it is possible to find out the actual forces interacting during construction and to understand how the forces really act during and after the excavation work. The information can be used for optimizing the design practice and to make the designs more cost efficient. It will also improve the safety level of excavation works as the behavior of the retaining wall can be verified.

Key words: load cell, anchor tension, ground anchors, retaining wall

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	Tukiseinät	7
2.1	Kaivannon suunnittelu	7
2.1.1	Kaivannon vaativuusluokat.....	7
2.1.2	Kaivantotyyppin valinta	7
2.2	Lähtötiedot	8
2.2.1	Pohjatutkimukset.....	8
2.2.2	Läheiset rakenteet ja niiden vaurioherkkyys.....	9
2.3	Tukiseinätyypit	10
2.3.1	Teräsponttiseinät	10
2.3.2	Settiseinät	12
2.3.3	Porapaaluponttiseinä	13
2.3.4	Tukiseinätyypin valinta.....	15
2.4	Tuentatavat.....	16
2.4.1	Sisäpuolinen tuenta	16
2.4.2	Ulkopuolinen tuenta	17
2.4.3	Tukiseinän alapään tuenta	18
2.5	Varmuudet ja liikkeet.....	19
2.5.1	Varmuudet.....	19
2.5.2	Kaivannon ympäristö	21
2.6	Ankkurityypit.....	21
2.6.1	Läpi-injektoitu tankoankkuri.....	22
2.6.2	Punosankkurit.....	24
2.7	Ankkurointipalkki	29
2.8	Ankkurikotelot	29
3	Ankkureiden mittausvälineet.....	30
3.1	Loadcell anturi	30
3.1.1	Virhemarginaalit	31
3.2	Tiedonkeruujärjestelmä	31
3.2.1	Lähetinyksikkö ja tallennusjärjestelmä	32
4	Esimerkkikohteet.....	33
4.1	Työmaa 1	33
4.1.1	Alkuperäinen mitoitus.....	34
4.1.2	Vaihtoehtoinen suunnitelma.....	34
4.1.3	Tuennan toteutus	35
4.2	Loadcell anturit	36

4.2.1	Asennus ankkurirakenteeseen	36
4.2.2	Mittausvirheet	37
4.3	Mittaukset	39
5	Työmaa 2	45
5.1	Tuennan toteutus	45
5.2	Loadcell anturit	46
5.2.1	Antureiden asennus ankkurirakenteeseen	46
5.3	Mittaukset	47
6	POHDINTA.....	52
	LÄHTEET	54
	LIITTEET	55
	Liite 1. Alkuperäinen tuentasuunnitelma (Severi Anttonen)	55
	Liite 2. Urakoitsijan tuentasuunnitelma (Tarmo Tarkkio / Severi Anttonen).....	56
	Liite 3. Kalibrointi taulukot	57

1 JOHDANTO

Tuettujen tukiseinien toiminnasta on hyvin vähän mitattua tietoa. Mitattua tietoa on aiemmin ollut käytössä vain tukiseinien liikkeisiin perustuvana mittauksena. Nyt mittaukset on mahdollista suorittaa suoraan ankkuriin kohdistuvan voiman mittauksena. Näitä mittaauksia voidaan verrata tukiseinän suunniteltuihin ankkurivoimiin.

Opinnäytetyössäni tarkastellaan load cell mittarien käyttöä työmaalla tukiseinien ankkurivoimien mittauksessa. Näitä voimia mittaamalla saadaan tietoa siitä, miten tukiseinä käyttäytyy ja millaiset voimat tukiseinien ankkureihin kohdistuu kaivun ulottuessa haluttuun kaivutasoon. Työssä kerrotaan, miten tarkkailu tapahtuu reaaliaikaisesti.

Mittauksia tarkastellaan kahdella toisistaan poikkeavalla tukiseinätyömaalla. Toisella työmaalla on kyseessä 1-tasolta ankkuroitu tukiseinä, jossa käytettiin kallio- sekä maa-ankkureita. Toisena kohteena on tuettu kaivinpaaluseinä, joka ankkuroitiin 2-tasolta läpi-injektoitavin maa-ankkurein.

Työssä mittaukset keskittyvät load cell antureihin ja niistä saatavan tiedon käsittelyyn. Muita mittausmenetelmiä työssä ei käsitellä. Työssä käsitellään myös yleisimmät tukiseinätyypit ja tuentatavat pintapuolisesti.

Työn tavoitteena on tuoda load cell mittausjärjestelmää tutummaksi ja madaltaa järjestelmän käyttöönoton kynnystä.

2 Tukiseinät

2.1 Kaivannon suunnittelu

Tukiseinien mitoituksessa ensimmäinen askel on ottaa huomioon kaivannon suunnittelu. Kuuluuko mitoitettava tukiseinä mihin vaativuusluokkaan? Mitkä ovat työalueella vallitsevat pohjasuhteet?

2.1.1 Kaivannon vaativuusluokat

Kaivantojen suunnittelun ja rakentamisen vaativuutta lisäävät vaikeat ja vaihtelevat pohjasuhteet, korkealla oleva pohja- tai orsivesi ja niiden alenemisen aiheuttamat ympäristöriskit, kaivannon syvyys, läheiset naapurirakennukset ja –rakenteet sekä erityisesti kaivannon ulottaminen naapurirakennusten perustusten alapuolelle, kaivannon ulottaminen kallioon maakerrosten läpi sekä käytettävät uudet pohjarakennusmenetelmät.

(RIL 181-1989 s.10)

Tarkemmin kaivantoluokat on jaettu Ril 181-1989 mukaan hyvin vaativiin kaivantoihin, vaativiin kaivantoihin sekä helppoihin kaivantoihin. (Perustelut kaivantojen vaatimusluokkien välille löytyvät Ril 181-1989 Rakennuskaivanto-ohjeesta 2.1 kappaleesta.)

2.1.2 Kaivantotyypin valinta

Kaivantotyypin valinnassa on otettava huomioon erityisesti ympäristössä olevat rakennukset ja rakenteet sekä puusto, pohjasuhteet ja pohjavesisuhteet, joskus myös työmaan järjestelyt ja aina työturvallisuuskysymykset. (Ril 181-1989 s.11)

Ympäristöriskit muodostuvat sitä suuremmiksi ja sitä laajemmille alueille ulottuvaksi, mitä huonompiin pohjasuhteisiin syviä kaivantoja sijoitetaan. Ympäristöriskit ovat pienimmillään sijoitettaessa tukiseinä kallioisille alueille. (Ril 181-1989 s.11)

Jos työnaikaisen kaivannon alin kaivutaso sijoittuu pohjavedenpinnan vaihtelut huomioon ottaen alimman pohjavedenpinnan (NW) alapuolelle tai kaivantoon tulevan pysyvän kuivatusjärjestelmän kuivatustaso sijoittuu keskimääräisen pohjavesipinnan MW alapuolelle, on alustavan pohjarakennussuunnitelmaan sisällytettävä selvitys pohjavedenpinnan muutoksista ja näiden vaikutus lähirakenteisiin. (Ril 181-1989 s.12)

Kaivantotyömaalle on pääsääntöisesti suunniteltava raskaan maansiirtoliikenteen salliva ajotie. Poikkeustapauksena kaivu- ja louhintamassojen kuljetus voidaan järjestää muulla tavoin, mutta tämä tapa on aina ennen kaivantotyötä suunniteltava kaivannon pohjarakennussuunnitteluun liittyen. Jos kaivannon reunalle sijoitetaan ajoteitä, varastoalueita ja työmaakoppeja tai muita kuormittavia tekijöitä, on niiden aiheuttamat kuormitukset otettava kaivannon mitoituksessa huomioon. Samoin on otettava huomioon kaivannon reunalla liikkuvien rakennuskoneiden mitoitukset. Erittäin tärkeä kaivannon suunnitteluun liittyvä tekijä on työmaalla tarvittavan nosturin sijoittamisen ja perustamisen suunnittelu. Erityisesti on otettava huomioon, ettei tukiseinien tai tukirakenteiden varaan saa sijoittaa kuormituksia, esimerkiksi varastointia, jota ei ole otettu huomioon näitä rakenteita mitoittaessa. (Ril 181-1989 s.12)

2.2 Lähtötiedot

2.2.1 Pohjatutkimukset

Kaivannon geotekninen suunnittelu edellyttää aina pohjatutkimuksen suorittamista. Pohjatutkimus tulee tehdä paikallisten olosuhteiden asettamien vaatimusten mukaisesti. Tutkimuksen tulee olla sitä seikkaperäisempi, mitä vaihtelevampia ovat pohjasuhteet, mitä syvempi kaivanto ja mitä suurempia vahinkoja kaivannon läheisyydessä tapahtuvat siirtymät tai kaivannon mahdollinen sortuminen saattaa aiheuttaa. (Ril 181-1989 s.14)

Pohjatutkimuksen avulla tulee selvittää:

- Maakerrokset kaivannon ja ankkuroinnin alueella sekä niiden tiiveys, kivisyys ja lohkaraisuus. Maalajit ja maakerrosrajat varmistetaan ottamalla riittävästi maanäytteitä.

- Kovan pohjan sijainti ja kallion sijainti kaivannon ulottuessa kallioon tai käytettäessä kallioankkureita.
- Hienorakeisten ja eloperäisten maakerrosten suljettu leikkauslujuus siipikairalla suoraan maakerroksissa.
- Muut maakerrosten geotekniset mitoitusarvot määritetään ”in situ” kokein ja laboratoriossa riittävästä määrästä häiriintyneitä ja häiriintymättömiä maanäytteitä
- Pohjavedenpinta vaihtelurajoinen. (Ril 181-1989 s.14)

2.2.2 Läheiset rakenteet ja niiden vaurioherkkyys

Ennen maastossa suoritettavaa pohjatutkimusta on selvittävä kaivannon vaikutusalueella sijaitsevat

- rakennukset ja muu rakenteet
- hule- ja likavesiviemärit
- vesi- , kaasu- ja kaukolämpöjohdot
- sähkö-, puhelin- ja lennätinkaapelit (Ril 181-1989 s.17)

Myöskin on selvittävä pohjatutkimusalueella aiemmin olleet puretut rakennukset tai rakenteet, joiden perustukset on mahdollisesti jätetty purkamatta ja alueella aiemmin tehdyt kaivut ja täytöt. (Ril 181-1989 s.17)

Ennen varsinaista kaivantosuunnittelua on selvittävä kaivannon alueella ja sen lähiympäristössä olevien rakennusten ja rakenteiden

- tarkka sijainti
- käyttötarkoitus
- kerroslukumäärä ja rakennejärjestelmä
- kunto (Ril 181-1989 s.17)

Erityisesti on selvittävä kaivannon lähiympäristön rakennusten ja rakenteiden

- perustustapa
- perustustaso
- perustusten tarkka sijainti ja tarvittaessa
- perustusten kunto (Ril 181-1989 s.17)

Kaivannon vaikutusalueella on selvittävä rakennusten ja rakenteiden sekä niiden perustusten vaurioherkkyys ennen kaivantotyön aloittamista. Jos kaivannon teosta aiheutuu tärinää tai kaivannon läheisyydessä on tärinäherkkiä rakennuksia tai rakenteita, on tällöin selvittävä rakennusten ja rakenteiden sekä niiden sisällä olevien tärinäherkkien koneiden ja laitteiden tärinärajat. (Ril 181-1989 s.18)

2.3 Tukiseinätyypit

2.3.1 Teräsponttiseinät

Teräsponttiseinä on yleisimmin käytetty tukiseinämuoto kustannusrakenteen ja asennus helppouden takia. Teräsponttiseinää voidaan käyttää kevyemmissä tukiseinäratkaisuissa mutta, vaativimmissakin kohteissa sen käyttö onnistuu. Teräsponttiseinän asennus tapahtuu yleisimmin vibra-avusteisella vasaralla. Tiiviissä maaperässä asentamiseen on varauduttava isommilla paalukoneisiin asennettavilla korkeataajuusvibroilla.

Teräsponttiseiniä voidaan käyttää kaikissa maakerrostumissa. Kuitenkaan, teräsponttiseinää ei yleensä saada lyötyä tiiviiseen tai kiviseen moreeniin tai tiiviiseen karkearakeiseen maakerrokseen. (Ril 181-1989 s.28)

Täryttämällä asennetavalle teräspontille tarvittava voima asennukseen voidaan määrittää seuraavalla kaavalla. (kaava 1)

$$F = 15(t + 2G)/100 \quad (\text{kaava 1})$$

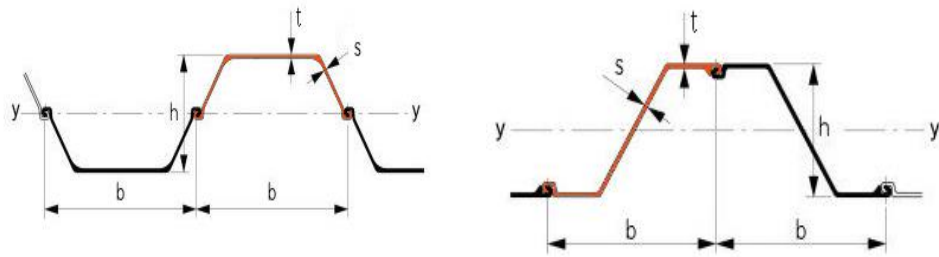
F= keskipakovoima (kN)

t = upotussyvyys (m)

G = profiilinmassa (kg)

(Eronen, S Teräksiset tukiseinärakenteet)

Edellisessä kaavassa ei kuitenkaan huomioida maaperän koostumusta, joka kuitenkin on varsin suuressa osassa valittaessa asennusmenetelmää teräsponttiseinälle. Yleisimmin käytössä olevat teräsponttiprofiilit on esitetty kuvassa 1.



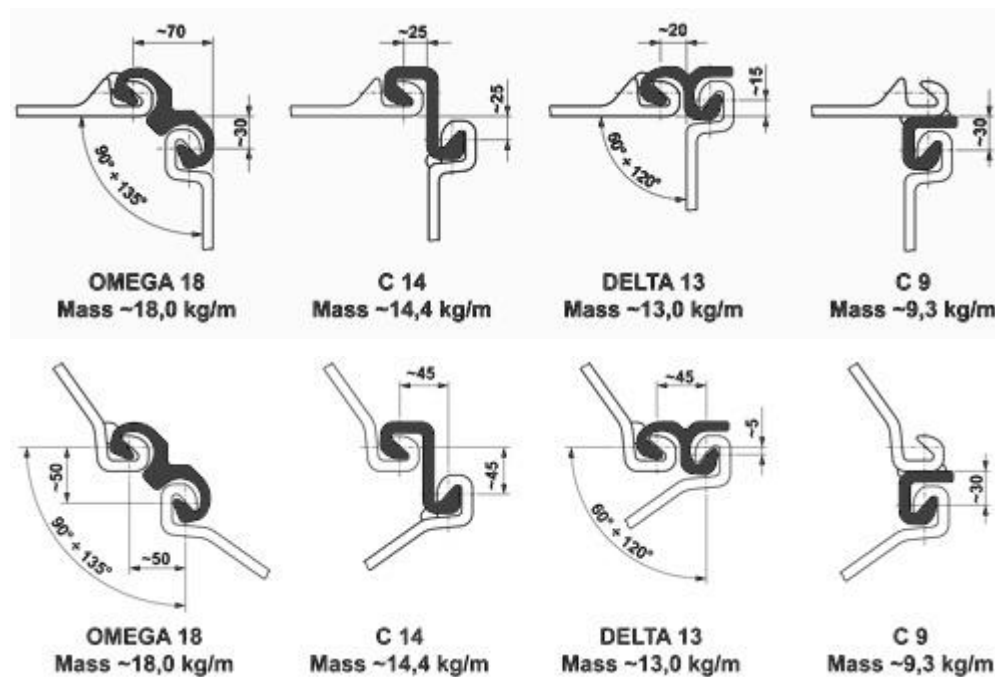
Kuva 1 Yleisimmät teräspontti tyypit (arcelor mittal)

Teräsponttiseinän mitoituksessa on otettava huomioon seinän vastusmomentin muutos, mikäli ponttilankkuja ei lyödä ponttiin. Vain ponttiin lyötyä teräsponttiseinää voidaan pitää lähes vesitiiviinä. (Ril 181-1989 s.29).

Teräsponttiseinän lukkojen vesitiiveyttä voidaan parantaa lukkoihin laitettavilla lisäaineilla.

Ponttiseinää asennettaessa ponttien alapää on saatava kovaan maakerrokseen tukiseinän kärkivastuksen aikaansaamiseksi. Ankkuroidussa tukiseinässä löyhään maahan jätetty pontin alapää saattaa lähteä vajoamaan, ja näin löystyttää ankkureita. Tästä johtuen tukiseinä alkaa kallistua kaivantoon päin ja tukiseinän takana olevat maamassat pääsevät liikkeelle aiheuttaen painumia tukiseinän taakse.

Ponttiseinän kulmien tekoon on omat kulmakappaleensa (kuva 2), mutta kulmat voidaan myös tehdä työmaalla hitsaamalla pontin pituudesta ja painosta riippuen joko kahdesta erillisestä pontista hitsaamalla tai yhdestä pontista polttoleikkaamalla ja hitsaamalla. Yhdenäisillä kulmilla saadaan luotettava ratkaisu tukiseinien liitoskohtiin.



Kuva 2 Teräsponttien kulmakappaleet (arcelor mittal)

2.3.2 Settiseinät

Settiseinää käytetään sekä matalien että syvien työnaikaisten ja pysyvien kaivantojen tukemiseen karkearakeisessa maassa tai moreenissa. Settiseinä ei ole vesitiivis, joten kaivannon ulottuessa pohjaveden alapuolelle on pohjavesi alennettava ennen kaivua. Koska settiseinän rakentamistapa aiheuttaa ympäristössään suurehkon painuman, sitä ei yleensä voida käyttää hyvin vaativien kaivantojen tukiseinä. (Ril 181-1989 s.29)

Settiseinä muodostuu maahan pystysuoraan asennettavista pystypalkeista, jotka ovat joko leveälapaisia I- tai U-profiileja. Pystypalkit upotetaan yleensä 1...4m välein. Pystypalkkien väliin asennetaan settilankkuja, jotka ovat joko puulankkuja, parruja, teräsprofiileja tai teräbetonielementtejä. Settilankkujen sijasta voidaan käyttää myös paikalla valettua betoni- ja ruiskubetoniseinää. Tällöin settiseinä voi soveltua myöskin hyvin vaativiin kaivantoihin. (Ril 181-1989 s.29)

Settiseinän pystypalkit voidaan myös korvata porattavina RD paaluina, jolloin settiseinän alapää saadaan vietyä tukevasti kallioon asti. Settilankkuina käytetään tällöin paaluputkiin tai paaluputkiin asennettuihin hitsaustukiin hitsattavia teräsprofiileja. U-profiilin palkki tai rakenneteräslevy soveltuvat käyttökohteesta riippuen hyvin tähän.

2.3.3 Porapaaluponttiseinä



Kuva 3: Ruukin RD-paaluseinää (ruukki)

RD-paaluseinä perustuu Ruukin kierresauma- tai pituussaumahitsaamalla valmistamiin teräsputkipaaluihin (kuvat 3 ja 6) sekä tehtaalla hitsaamalla kiinnitettyihin lukkoprofiileihin. Paalut porataan keskeisellä porausmenetelmällä. Teräsputkipaalun lukkoprofiileina käytetään Ruukin tähän tarkoitukseen kehittämiä lukkoprofiileja (kuvat 4 ja 5). Avarrinkruunujen ja lukkoprofiilien yhteen sovitettut mitat mahdollistavat RD-paaluseinän asentamisen poraamalla kivien ja lohkareiden läpi sekä tarvittaessa kallion sisään. Avarrinkruununa käytetään normaalikokoa suurempaa avarrinkruunua, joka tekee mahaan, kiiviin ja kallioon halkaisijaltaan suurempaa reikää kuin paalun ulkohalkaisija.

(Ruukki RD- paaluseinäesite)



Kuva 4 : RM/RF ponttilukko (Ruukki)



Kuva 5 : Ruukki E21 ponttilukko (Ruukki)

RD- paaluseinän suunnittelu voidaan tehdä joko Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan tai Eurokoodi suunnittelujärjestelmän mukaisesti. RD- paaluseinä mitoitetetaan tavanomaisen tukiseinärakenteen mukaan. Kun RD- paaluseinään kohdistuu merkittäviä pystykuormia, sovelletaan suunnittelussa paaluperustusten suunnittelu- ja mitoituskäytäntöä. (Ruukki RD- paaluseinäesite)



Kuva 6 RD seinä (P.Thesleff)

Paalut voidaan asentaa kaikkien maakerrosten läpi tarvittaessa peruskallion sisään asti. Paalujen sijaintipoikkeamat ja käyryydet ovat pieniä. (Ruukki RD- paaluseinäesite)

2.3.4 Tukiseinätyypin valinta

Tukiseinätyyppi tulee valita käyttötarkoituksen, olosuhteiden ja vaatimustason mukaan (taulukko 1). (Ril 181-1989 s.32)

Taulukko 1 Tukiseinätyypin valinta

5.14 Tukiseinätyypin alustava valinta

- o Tukiseinien valintaperusteita olosuhteiden ja vaatimusten mukaan on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Tukiseinätyypin soveltuminen erinäisiin olosuhteisiin ja vaatimuksiin.

Vaatus tai olosuhdetekijä	Teräs- pontti- seinä	Setti- seinä	Kaivin- paalu- seinä	Kaivanto- seinä	Putkipaalu- seinä
Käyttötarkoitus					
- pysyvä tukiseinä	(X)	X	X	X	X
- työnaikainen tukiseinä	X	X			(X)
Vesitiiviysvaatimus					
- avovesiolosuhteet	X				(X)
- vesitiivis seinä	X		X	X	(X)
Pohjasuhteet					
- pehmeä tai vetelä	X		X	X	X
- kiinteä ja kivetön	X	X	X	X	X
- kova ja kivinen		(X)	X		(X)
Ympäristö ei saa liikkua tai painua	(X)	(X)	X	X	X
Tukiseinästä tulee osa lopullista rakennetta			X	X	X

X - seinä soveltuu yleensä käytettäväksi
(X) - seinää voidaan joskus käyttää

2.4 Tuentatavat

Tukiseinät tuetaan joko kaivannon sisä- tai ulkopuolelle. Tuentatapa määräytyy pääasiassa kaivannon syvyyden ja laajuuden, pohjasuhteiden, kaivannon ympäristön, rakentamisjärjestyksen ja työtilan tarpeen sekä taloudellisten näkökohtien perusteella.

(Ril 181-1989 s.32)

Tukiseinän alapää tuetaan joko kimmoisesti tai vapaasti kaivutason alapuolisen maahan passiivipaineen avulla. Mikäli tukiseinä ulottuu kallioon asti ja kaivutason alapuolinen maa ei anna tukiseinälle riittävää vaakatukea, tuetaan tukiseinän alapää kallioon yleensä kalliotapeilla. Kahden tai useamman tukitason tukiseinä voidaan mitoittaa myös ulokkeena toimivaksi. (Ril 181-1989 s.33)

2.4.1 Sisäpuolinen tuenta

Tukiseinän sisäpuolisessa tuennassa käytetään yleensä vaakatukia, jotka tukeutuvat kaivannon vastakkaisiin seiniin. Pienialaisissa kaivannoissa voidaan tukirakenteet tehdä niin jäykiksi, että ne toimivat kehärakenteena. (Ril 181-1989 s.33)

Laajoissa ja avoimissa kaivannoissa tai tukiseinän jäädessä pehmeisiin maakerroksiin, voidaan tukiseinät tukea vinotuilla kaivannon pohjalta. Tällainen tuenta edellyttää tarkkaa työvaihesuunnittelua. (Ril 181-1989 s.33)

Mikäli tukiseinä tuetaan kaivannon pohjalta valmiiksi tehdystä maanvaraisesta anturaperustuksesta, on anturaperustuksen suunnittelussa tällöin otettava huomioon siihen kohdistuvan kuormituksen suunta ja epäkeskisyys, sekä vinon kuormituksen aiheuttamat muodonmuutokset maapohjassa anturaperustuksen alla. Jos tukiseinä tuetaan vinotuilla paaluperustuksesta, on mitoituksessa otettava huomioon paaluille tuleva sivukuormitus.

Tukiseinän tukeminen valmiiseen perustukseen edellyttää, että perustusrakenteen mitoituksessa otetaan huomioon siihen kohdistuva vinokuorma ja siitä on aina neuvoteltava rakennesuunnittelijan kanssa. (Ril 181-1989 s.33)

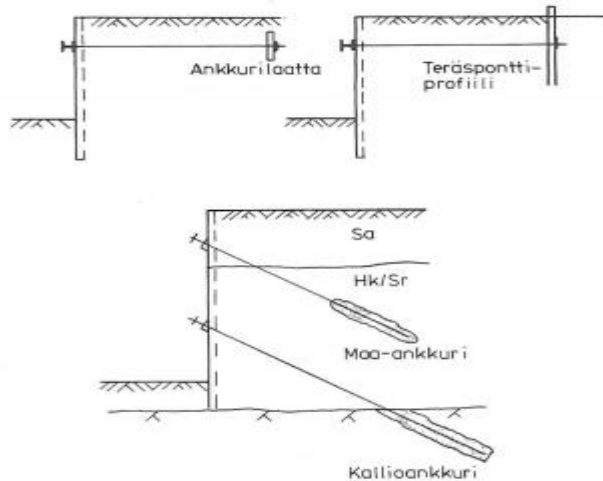
Tukiseinien kulmissa on usein edullista lyhentää ankkuripalkkien jännevälejä sisäpuolisilla kulmatuilla (kuva 7). Tällöin suunnittelussa on otettava huomioon sisäpuolisen tuennan vaatima tila kaivannon kulmissa. (Ril 181-1989 s.33)



Kuva 7 Kulmatuki (P.Thesleff)

2.4.2 Ulkopuolinen tuenta

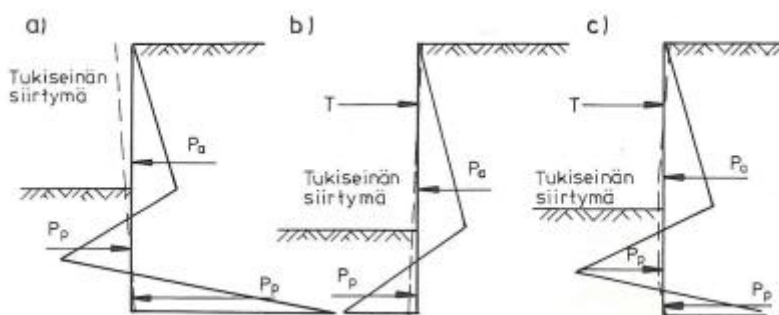
Laajat syvät kaivannot tuetaan yleensä ankkuroimalla tukiseinä kaivannon ulkopuolelle. Mikäli seinän tukeminen yhdeltä tasolta riittää ja kaivannon ympäristö sallii, voidaan seinän tukemiseen käyttää vaakasuoria vetotankoja, jotka kiinnitetään tukiseinän taakse riittävän etäälle tukiseinästä sijoitettuun ankkurilaattaan tai teräspontti- profiiliin. Mikäli tukiseinä joudutaan ankkuroimaan useammalta tasolta, käytetään esijännitysteräksiä, vetotankoja tai vaijereita. (kuva 8) (Ril 181-1989 s.34)



Kuva 8 Ulkopuolinen ankkurointi (Ril 181-198 s.35)

2.4.3 Tukiseinän alapään tuenta

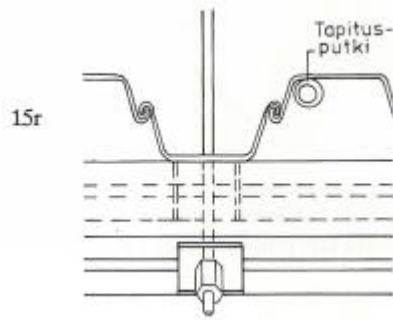
Ulokkeena toimiva tukiseinä tukeutuu kimmoisesti kaivutason alapuoliseen maahan. Yhdeltä tasolta tuettu, kaivutason alapuoliseen maahan vapaasti tuettu tukiseinä, tukeutuu kaivutason alapuolisessa maassa passiivipaineen varaan, kun taas kaivutason alapuoliseen maahan kimmoisesti tuettu tukiseinä kiertyy kiertopisteen ympäri. Tämän pisteen alapuolella seinä taipuu taaksepäin ja seinän alaosaan kehittyy kiinnitysmomentti.



Kuva 9. Tukiseinän alapään tukeutuminen. a) ulokkeena toimiva tukiseinä, b) yhdeltä tasolta tuettu maahan vapaasti tuettu ja c) maahan kimmoisesti tuettu tukiseinä. (Ril 181-1989 s. 36)

Jos tukiseinä suunnitellaan ulottuvaksi kallioon asti ja tukiseinän vaakastabiliateetti edellyttää tukivoimaa tukiseinän alapäähän, tuetaan tukiseinän alapää kallioon kalliotapeilla. Kalliotapit asennetaan kallioon joko poraamalla ponttiseinän ponttiprofiiliin, settiseinän

pystypalkkiin tai patoseinän raudoitukseen kiinnitetyn putken kautta tai käyttäen suoja-putkiporausta. (Kuva 10) (Ril 181-1989 s.36)



Kuva 10 Ponttiseinään kiinnitetty suojaputki kalliotapin asennusta varten.

Suojaputkiporauksella kalliotapin saaminen teräsponttiprofiilin välittömään läheisyyteen on hankalaa ja tarkkuutta vaativa työvaihe. Yleensä suojaputkella porattaessa kalliotappeja tappi jää 10-20cm teräsponttiprofiilin selästä. Suojaputkiporaus onkin suoritettava maanpinnalta ennen kaivutyön aloittamista, jotta tapit saataisiin haluttuun kohtaan.

Mikäli kaivu ulotetaan kallioon asti ja kaivannon pohjalla suoritetaan louhintaa tukiseinän vieressä, tehdään ennen louhintaa seinän pysty- ja vaakastabiliteetin varmistamiseksi tukiseinän ja kallion saumakohtaan teräsbetoninen juuripalkki, joka kiinnitetään kallioon kalliopulteilla. Kallio on esipultattava ennen louhintaa kalliotappien leikkausvoimaa ja kallion rakoilua vastaavasti. Juuripalkkia käytetään myös pohjavesivuotojen vähentämiseksi. (Ril 181-1989 s.37)

2.5 Varmuudet ja liikkeet.

2.5.1 Varmuudet

Ril 181-1989 Rakennuskaivanto-ohje (s.38) ohjeistaa kaivannon suunnittelua seuraavasti:

”Kaivanto tai sen osa tulee suunnitella siten, että

- se sietää riittävällä varmuudella ulkoiset kuormat ja siirtymät, jotka kohdistuvat siihen normaalikäytössä käyttöaikana.
- Tuetun hyvin vaativan kaivannon tukirakenne kestää riittävällä varmuudella paikallisen murtuman, jonka jokin odottamaton ulkoinen vaikutus

(onnettomuusrajatila), esimerkiksi yhden ankkurin pettäminen tai tuen poistaminen on aiheuttanut,

- Kaivannolla on riittävä kokonaisstabiliteetti
- Kaivanto toimii hyväksytyllä tavalla normaalikäytössä.”

Määääviä perusteita kaivannon mitoituksessa vaadittua varmuustasoa valittaessa ovat

- Vaara menettää ihmishenkiä
- Kaivannon vaikutusalueella olevien rakenteiden tyyppi, koko ja perustamistapa
- Pääasialliset maakerrokset
- Tuetun kaivannon tukiseinätyyppi (Ril 181-1989 s.38)

Kaivannon mitoitus suositellaan tehtäväksi rajatilamenetelmällä. Mitoitus voidaan kuitenkin tehdä myös kokonaisvarmuuslukumenetelmällä ja sallittujen jännitysten menetelmällä. (Ril 181-1989 s.38)

Valmiin kaivannon riittävä varmuustaso taataan sijoittamalla mitoituksessa varmuutta ainakin seuraaviin tekijöihin: (Ril 181-1989 s.38)

- Materiaalimuuttujat
 - o Maan leikkauslujuus
 - o Tukiseinän materiaalilujuus
- Kuormamuuttujat
 - o Pintakuorma
 - o Veden pinnan taso
 - o Muut kuormat
- Geometriset muuttujat
 - o Kaivutaso

Rakennuskaivanto-ohje (Ril 181-1989 s.39) antaa kokonaisvarmuusluvuksi pysyvälle maata tukevalle rakenteelle $>1,8$ ja työnaikaisen kaivannon kokonaisvarmuusluvuksi sortumaa vastaan $>1,5$. Puisto- ja piha-alueilla lyhytaikaisissa kaivutöissä voi käyttää kokonaisvarmuuslukua $>1,3$.

Rajatilamenetelmää käytettäessä kaivanto mitoitetaan sekä murto- että käyttörajatilassa. (Ril 181-1989 s.39)

2.5.2 Kaivannon ympäristö

Kaivannon kaivutyöt aiheuttavat aina maapohjaan jännitystilan muutoksen, jonka seurauksena maapohjassa syntyy siirtymiä. Siirtymien suuruus ja alueen suuruus, jossa siirtymiä tapahtuu, riippuvat pohjasuhteista, mitoituksessa käytetystä varmuustasosta sekä työtavasta ja työjärjestyksestä. (Ril 181-1989 s.42)

Ympäristössä maanpohjan liikkeet ilmenevät maanpinnan ja rakenteiden painumisena ja vaakasiirtyminä. (Ril 181-1989 s.42)

Tukirakenteen vaakasiirtymiin ja niistä aiheutuviin ympäröivän maapohjan siirtymiin vaikuttavat, tuennasta ja työtavasta riippuvat tekijät voidaan luetella seuraavasti:

- Tukiväli vaaka- ja pystysuunnassa
- Tukitason alapuolisen kaivun suuruus ennen kuin tuki asennetaan
- Kerralla kaivetun tukemattoman kaivannon osan pituus
- Kaivun ja tukien asentamisen välinen aikaviive
- Tukien tehollinen jäykkyys, johon vaikuttavat esijännitys, liitoselimet ja niiden kokoonpuristuvuus, kiilaus, ankkuriosan jäykkyys ja siirtymät
- Tukiseinätyyppi ja
- Tukien poistaminen ja tukirakenteen purku (Ril 181-1989 s.42)

2.6 Ankkurityypit

Ankkurien tehtävä on välittää joko kalliosta tai maasta otettava tuki tukiseinälle. Ankkurit voidaan siis porata peruskallioon tai kitkamaissa tarvittavat voimat voidaan ottaa maa-ankkureina kitkamaasta. Jos kyseessä on pienet voimat ja karkeanpuoleinen koheesioma, niin maa-ankkureiden tarvitsemat voimat voidaan saada myös koheesiomaasta.

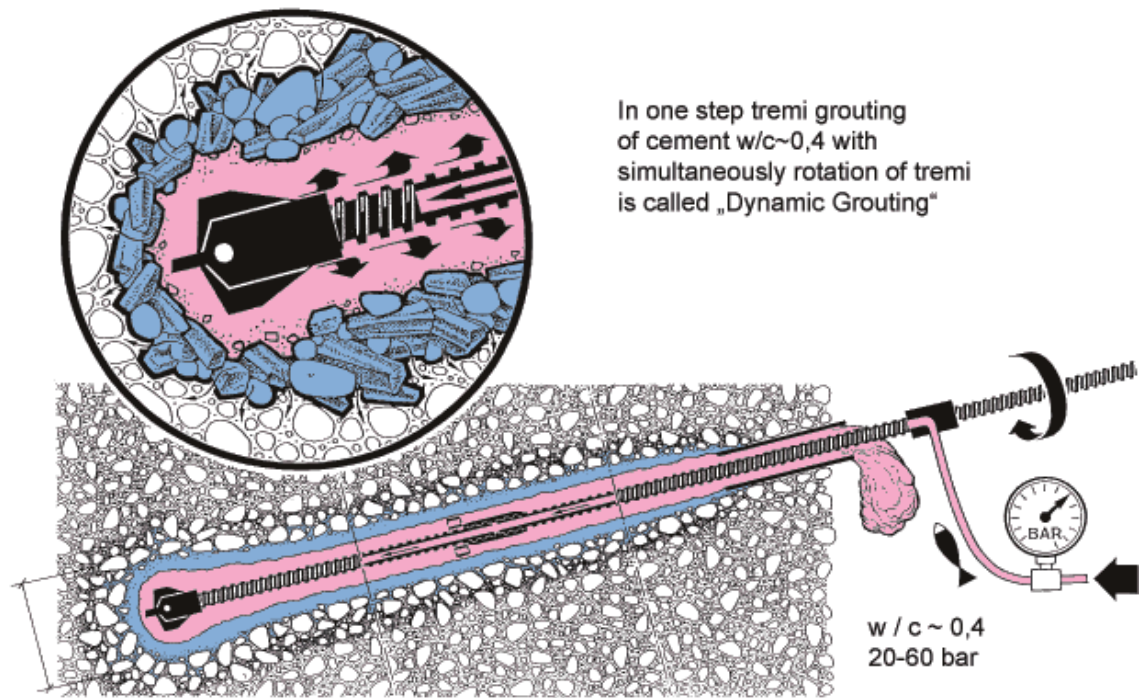
Ankkureiden asennuksessa käytetään yleisesti paineilmaa. Paineilmalla on paha taipumus maaperään työnnettäessä löyhdyttää ympäröiviä maakerroksia, ja tämä saattaa aiheuttaa painumia sekä maan vajoamista ankkurointivyöhykkeellä.

Kun tehdään pysyviä ankkureita ilmauppovasaralla, ilman käyttömäärä on huomattavasti suurempi. Näin ollen myös painumien syntymisen riski suurenee huomattavasti. Ilman käytön sijaan voidaan ankkurit porata myös vesihuuhtelumenetelmällä, jolloin uppovasaraa käytetään korkeapainevedellä.

Myös muutamat poraustarvikkeita valmistavat yritykset ovat huomanneet paineilmasta koituneet haitat ja panostaneet tuotekehitykseen, jossa tavoitteena on ollut parantaa ilman kulkeutumista maaperässä. Näissä pilottikruunuissa ilma pyritään ohjaamaan mahdollisimman tehokkaasti takaisin putken sisään heti pilottikruunun etupuolelle tultuaan. Menetelmää kutsutaan säteittäishuuhtelutekniikaksi.

2.6.1 Läpi-injektoitu tankoankkuri

Läpi-injektoitu tankoankkuri soveltuu parhaiten maa-ankkuriksi kitkamaille. Ankkuri asennetaan sementtihuhtelulla poraamalla. (kuva 11) Tämä asennustapa häiritsee hyvin vähän ympäröivää maaperää ja soveltuu hyvin vaurioherkille alueille tai alueille, joilla paineilman käyttö on kielletty tai rajoitettu. Ankkuri koostuu tangoista, joita on saatavilla 100kN – 1600kN [Fsall] voimiin. Tankojen yleisimmät halkaisijat ovat 30-103mm välillä. Tangot yhdistetään toisiinsa jatkosholkeilla. Tankoja on saatavana 3m tai 6m elementtipituuksina. Tankoihin kiinnitetään keskittäjät, joiden tarkoitus on pitää tarvittava suojaetäisyys maan ja tangon välillä. Tämä väli täyttyy porattaessa sementillä antaen tangolle myös korroosiosuojauksen. Tangon kärkeen kiinnitetään porakruunu, joka voi maalajista riippuen olla karbiininastoilla varustettu kalliokruunu tai ristiporakärkinen maa-kruunu. Maalajista riippuen maaperään syntyy 1,0-3,0 kertaa kruunun halkaisijan kokoinen injektoitunut vyöhyke. Sementti on pumpattava riittävällä paineella maaperään, jotta tämä vyöhyke muodostuu. Porattaessa ankkuria maahan on koko ajan tarkkailtava huhtelusementin nousemista ylös porareiästä. Jos sementtihuhtelu ei nouse ylös asti, on mahdollista että se kulkeutuu maaperässä ja näin ankkurin kitkaosuus ei muodostu, vaan ankkuri voi pettää koevedossa.



Kuva 11 Titan-ankkurin poraus (<http://www.ischebeck.com>)

Ankkurit koe vedetään ja jännitetään reikätkunkilla (kuva 12). Koevedossa seurataan mahdollisia ankkurin liikkeitä. Tämä on erityisen tärkeää silloin kun kyseessä on maa-ankkuri.



Kuva 12 Tankoankkurin koekuormitus (Niko Asikainen)

Läpi-injektoitavan maa-ankkurin tartuntapituus L kokemusperäisesti mitoitettuna (kaava 2)

(Salmenhaara, P Rakentajain kalenteri 2010, s.264)

$$L = \frac{F \times f}{\pi \times D \times q_{sk}} \quad (\text{kaava 2})$$

missä,

L = Tartuntapituus

F = Ankkurivoima

f = Varmuuskerroin

D = Halkaisija

q_{sk} = Vaippavastus

Sementtivaipan halkaisija D maaperästä riippuen 1,1-3 kertainen, laskennassa 1,5 kertainen. (Salmenhaara,P Rakentajain kalenteri 2010, s.263-264)

Vaippavastus q_{sk} : (Salmenhaara,P Rakentajain kalenteri 2010, s.263)

Maaperä	Vaippavastus q_{sk} [kPa]
sora, moreeni tiivis	250
Pieniä kiviä ja karkeaa soraa keskitiivis	200
Hiekka ja karkeasora, keskitiivis	150
Koheesioma	100

Injektoitujen maa-ankkurien ollessa kyseessä määritetään ankkurien kokonaispituus siten, että ankkurien tartuntaosat kokonaisuudessaan sijoittuvat tukiseinän alapäästä ja maahan kimmoisesti tuetun tukiseinän tapauksessa seinän kiertymispisteestä lähtevän aktiivisen liukupinnan ulkopuolelle. (Ril 181-1989 s.81)

2.6.2 Punosankkurit

Punosankkureita voidaan tehdä joko maa- tai kallioankkureiksi. Punosankkurit asennetaan yleensä päältä lyöväällä vasaralla ja suojaputkimenetelmällä. Tällöin porataan maa-

osuus OD putkikalustolla, joka saadaan nostettua ylös ankkurin asennuksen jälkeen. Ankuri koostuu ankkuriosuudesta ja venyvistä osuudesta. Ankkuriosuus kallioankkureilla on osuus, joka juotetaan kallioon, ja maa-ankkureilla riittävän kauas aktiivivyöhykkeen ulkopuolelle tukiseinän taakse porattu tartuntaosuus. Toinen ankkurin osuus on venyvä osuus, jota ei ole tarkoitus juottaa maahan kiinni, vaan tähän osuuteen tulee ankkureihin kohdistuva jännitys ankkureita jännitettäessä. Yleinen virhe ankkureita tehdessä on juottaa ankkuri ylös asti, jolloin ankkuri tarttuu koko matkaltaan kiinni maahan ja koevedossa veto ei kohdistu kallio-osuudelle, vaan maaosuudelle, joka huonoimmassa tilanteessa on aktiivisen liukupinnan sisäpuolella kokonaisuudessaan.

Kallioankkuria poratessa tulee selvittää kallioreiän pullomaisuus ja mahdollinen injektio-tarve vesipainekokeella.

Ankuripunoksina käytetään yleisesti 15,7mm SUP punosta, jolla lujuus on 1550/1770 N/mm² tai 1640/1860 N/mm². Yhdelle punokselle voidaan näin sallia punosmateriaalista riippuen 233kN tai 246kN voima. (kuva 13)

Injektoitujen maa-ankkureiden murtokuormitus tai osavarmuuskertoimella jaettua kitka-kerrointa vastaava sallittu ankkurivoima F_{sall} voidaan laskea kaavasta (kaava 3) (Ril 181-1989, s.90)

$$F_{sall} = N_f \times d \times L \times \sigma'_{vm} + N_p \times d^2 \times \sigma'_{vp} \quad (\text{kaava 3})$$

Missä

N_f	Vaippavastuskerroin
N_p	Kärkivastuskerroin
d	Ankkurintartuntaosan läpimitta [m]
L	Ankkurintartuntaosan pituus [m]
σ'_{vm}	Tartuntaosan keskellä vaikuttava tehokas pystyjännitys [kN/m ²]
σ'_{vp}	Tartuntaosan yläpäässä vaikuttava tehokas pystyjännitys [kN/m ²]

Kertoimet N_f ja N_p riippuvat maan kitkakulmasta ja ankkurin kaltevuuskulmasta. (Ril 181-1989, s.90)

Kallioankkurin mitoituksessa tarkistetaan seuraavat asiat: (Ril 181-1989 , s.91)

- Itse teräsosan jännitykset
- Terästen tartuntaosan pituus kalliossa ja
- Terästen korroosiosuojauksen riittävyys pysyvien kallioankkureiden yhteydessä.

Kallioon tuleva terästen tartuntaosan pituus määrätään juotoslaastin ja kallion välillä vaikuttavan leikkauslujuuden avulla, sekä toisaalta siten, että kalliokartio, jonka kärkikulma on 60° ja korkeus upotussyvyyden suuruinen, painaa ankkurille (tai ankkuriryhmälle) sallitun voiman verran. Pohjavedenpinnan alapuolella on veden nosteen vaikutus kartion painoon otettava huomioon. (Ril 181-1989 s.91)

Kallion ja juotoslaastin välillä vaikuttava leikkauslujuus tarkistetaan kaavasta (kaava 4) (Ril 181-1989 s.91)

$$\tau = \frac{F_{Lask}}{\pi d L} < \tau_b \quad (\text{kaava 4})$$

Missä

F_{lask}	laskettu ankkurivoima
d	porareian läpimitta (> 1,5 x ankkurin läpimitta)
τ	laskennallinen leikkauslujuus
τ_b	laastin tartuntalujuus kallioon

Pintakallion rikkonaisuuden takia ankkurointipituudeksi otetaan aina vähintään 3m ehjään kalliota ja 5...6m, kun ankkurivoima on 1MN tai enemmän. (Ril 181-1989 s.91)

Sekä maa- että kallioankkurit voidaan tehdä pysyviksi tai työnaikaisiksi ankkureiksi. Pysyvissä ankkureissa tulee huomioida korroosiosuojaus ja mitoituksessa suuremmat varmuudet voimille.

Tilapäisissä ankkureissa muodostaa tartuntaosan korroosiosuojan yleensä laasti, jonka vähimmäispaksuuden tulisi olla lievissä korroosio-olosuhteissa vähintään 20 mm. Ehjissä tiiveydeltään tutkituissa kallioirei'issä voidaan sallia vain 10mm vahvuinen suojakerros.

Syövyttävissä olosuhteissa tulee suojaavan laastikerroksen olla vähintään 30 mm. Ankkurin vapaaosa voidaan lyhytaikaisessa käytössä ja hyvissä olosuhteissa jättää kokonaan ilman suojausta. Yleensä kuitenkin suojaukseen käytetään esimerkiksi ruosteenestotahnaa ja muoviputkea. (Ril 181-1989 s. 111)



Kuva 13 pysyviä 15,7 mm punosankkureita RD seinässä. (V-P Kaikkonen)

Pysyvät ankkurit tulee aina suojata siten, että ne voivat joutua joskus syövyttäviin olosuhteisiin. Suojauksen tulee olla kauttaaltaan kaksinkertainen ja sisimmän suojauksen mieluimmin ennalta tehty ja ennen asentamista tarkastettu. Korroosiosuojaputkien on oltava korroosion kestäviä. Tartuntaosalta terästen suojana käytetään profiloitua muoviputkea, jonka sisäpuoli on ennalta injektoitu. Suojaputken ja teräksen välisen rengasmaisen alueen on oltava kauttaaltaan laastin täyttämä. Toinen suojaava laastikerros muodostuu ankkurin injektointivaiheen yhteydessä. Ehjässä kalliossa ja tiivistetyissä kallioirei'issä voidaan tyytyä yksinkertaiseen korroosiosuojaan, jos riittävän suojaavan laastikerroksen paksuus on varmistettu sopivilla välikkeillä. (Ril 181-1989 s. 111)

Vapaan osuuden korroosiosuojainjektointi tehdään koevedon ja ankkureiden jännittämisen jälkeen.

Punosankkureiden koeveto ja jännitys suoritetaan tartuntaosuuden injektoinnin kuivuttua. Yleensä noin 5-7 vrk ikäisen ankkurin pystyy koekuormittamaan. Koevedossa pidetään kirjaa punoksien venymästä ja mahdollisesta seinän liikkeestä. Koeveto tehdään kuormittamalla kaikki ankkuri punokset kerralla ankkurille annettuun koevetovoimaan F_{koe} . Koevetoa pidetään yllä 5 minuutin ajan, jonka aikana tarkkaillaan ankkurin venymää. Jos venymä on laskennallista venymää suurempi tai venymä kasvaa vedon ylläpidon aikana, voidaan olettaa että ankkuri myötää. Tällöin on tärkeää seurata myös tukiseinän liikettä sekä ankkurikotelon muodonmuutoksia, ettei venymä johdu niistä.

Koevedon jälkeen ankkuriin jätetään kiilat lukitsemalla ankkurille määrätty jättövoima. Tähän on huomioitava käytössä oleva jännityskalustosta riippuen kiilan aiheuttama hävikki jättövoimaan kiilan kiristytessä. Hävikin suuruus riippuu jännitykseen käytetystä kalustosta. Jos käytössä on hydraulisesti kiilat kiinni asettava tunkki, häviön suuruus on n.5mm. Jos käytössä on ns. ”release plate”, jossa kiilat asettuvat ankkuriin kohdistuvan jännityksen avulla on hävikki suurempi, noin 8-10mm.



Kuva 14 Lukkolevy ja kiila punosankkurille (VP Kaikkonen)

Kiilat ja lukkolevyt tulee olla samaan järjestelmään suunniteltuja (kuva 14). Eri valmistajilla on vain pieniä eroja kiilojen kulmissa ja koossa. Lukkolevyssä on aina stanssattu tunnus kenen toimittajan lukkolevystä on kysymys. Väärien kiilojen käyttö lukkolevyssä voi aiheuttaa ankkurin laukeamisen ja aiheuttaa todellisen vaaratilanteen työmaalla työskenteleville sekä ympäristölle.

2.7 Ankkurointipalkki

Ankkurointipalkin tehtävä on jakaa ankkureilta kohdistuva tukivoima tasaisesti tukiseinälle, eli ottaa vastaan maanpaineesta tuleva kuormitus ja jakaa se ankkureille. Ankkurointipalkkina käytetään yleisimmin jatkuvaksi hitsattua He300b teräspalkkia. Tällöin palkki asennetaan kylki tukiseinään kiinni, ja palkin sekä tukiseinän välit kiilataan hyvin tasaisen kuorman jakautumisen saavuttamiseksi. Kiilaus voidaan tehdä joko puumateriaalilla tai teräsmateriaaleilla. Kiilaus on tärkeä työvaihe tukiseinän asennuksessa, jotta seinän kuormittuessa kuormat jakautuvat koko seinän matkalle mahdollisimman tasaisesti. On katsottava, että kiilaus tapahtuu koko palkin kyljen korkeudelta ja mahdollisimman tiheästi.

Palkin jatkamisessa tulee palkki hitsata yhtenäiseksi rakenteeksi joko päittäisliitoksella tai jatkoslevyllä.

2.8 Ankkurikotelot

Ankkurikotelon tehtävä on toimia kuormia siirtävänä rakenteena ankkurin ja ankkuripalkin välillä. Ankkurikotelon malli vaihtelee käytettävän ankkuripalkin mukaan (kuva 15). Ankkurikotelon painautuminen tukiseinärakenteeseen on estettävä. Teräsponttiseinään ankkurointia varten tehdyt reiät heikentävät teräsponttiseinän rakennetta juuri ankkurin kohdalla. Tällöin on hyvä varmistaa kotelon painumattomuus pinta-alaltaan riittävällä ja tarpeeksi paksulla taustalevyllä. Ankkurikotelot voivat olla paikalla hitsattavia tai valmiiksi rakennettuja, joihin palkki pujotetaan sisälle.



Kuva 15 Ankkurikotelo (VP Kaikkonen)

3 Ankkureiden mittausvälineet

3.1 Load cell anturi

Load cell anturi mittaa ankkuriin kohdistuvaa jännitystä (kuva 16). Antureilla pystytään luotettavasti mittaamaan jopa 10000 kN voimia. Anturi mittaa itseensä kohdistuvaa painetta, jota voidaan lukea joko anturiin asennetulla mittarilla tai erillisellä mittarilla. Arvot ovat mittarista luettavissa reaaliaikaisesti, jolloin saadaan tietoa suoraan paikan päällä työmaalla.



Kuva 16 Load cell asennettuna ankkuriin (VP Kaikkonen)

3.1.1 Virhemarginaalit

Anturien virhemarginaaliksi on määritelty 0,5%-1% riippuen mittarin lukutavasta. Suoraan anturiin asennettavat painemittarit ovat hiukan epätarkempia kuin digitaaliset mittarit. Mittarityypistä riippuen mittarilla on myös oma virhemarginaali. Lämpötilasta tulee anturille virhettä $0,1\% / ^\circ\text{C}$ ellei tätä ole otettu huomioon korjauksena lukulaitteessa. Lämpötilan vaihtelusta mittauksen aikana on tutkimus parhaillaan käynnissä ja tästä saadaan lisätietoa lämpötilan vaikutuksesta. Kalibrointitodistuksessa tulisi mainita lämpötila kalibroinnin aikana, mutta nyt tämä tieto puuttuu. Tällöin voidaan olettaa, että kalibrointi on tehty sisätiloissa huoneenlämmössä n. 18 asteessa.

3.2 Tiedonkeruujärjestelmä

Load cell antureista saatava paine tulee mittarille milliampeereina. Mittaustieto voidaan lukea anturiin suoraan asennetulla painemittarilla, tai erillisellä mittarilla, josta saadaan arvot helpommin luettavassa muodossa. Load cell järjestelmään kuuluu anturi, mittauskaapeli, akku ja lähetin. (kuva 17)

Tieto voidaan myös lähettää GSM-verkon läpi, mikä mahdollistaa antureiden seuraamisen reaaliaikaisesti tietokoneen ruudulta. Tällöin tiedonkeruu helpottuu työmaalla, kun mittareita ei tarvitse lukea manuaalisesti. Etälukujärjestelmän hyvänä puolena on myös se että mittausvälit pysyvät vakiona. Mittausvälit voidaan etälukujärjestelmässä valita 4 minuutista 24 tuntiin tai tarvittaessa pidempäänkin mittaustaajuuteen.



Kuva 17 Load cell järjestelmä (VP Kaikkonen)

3.2.1 Lähetinyksikkö ja tallennusjärjestelmä

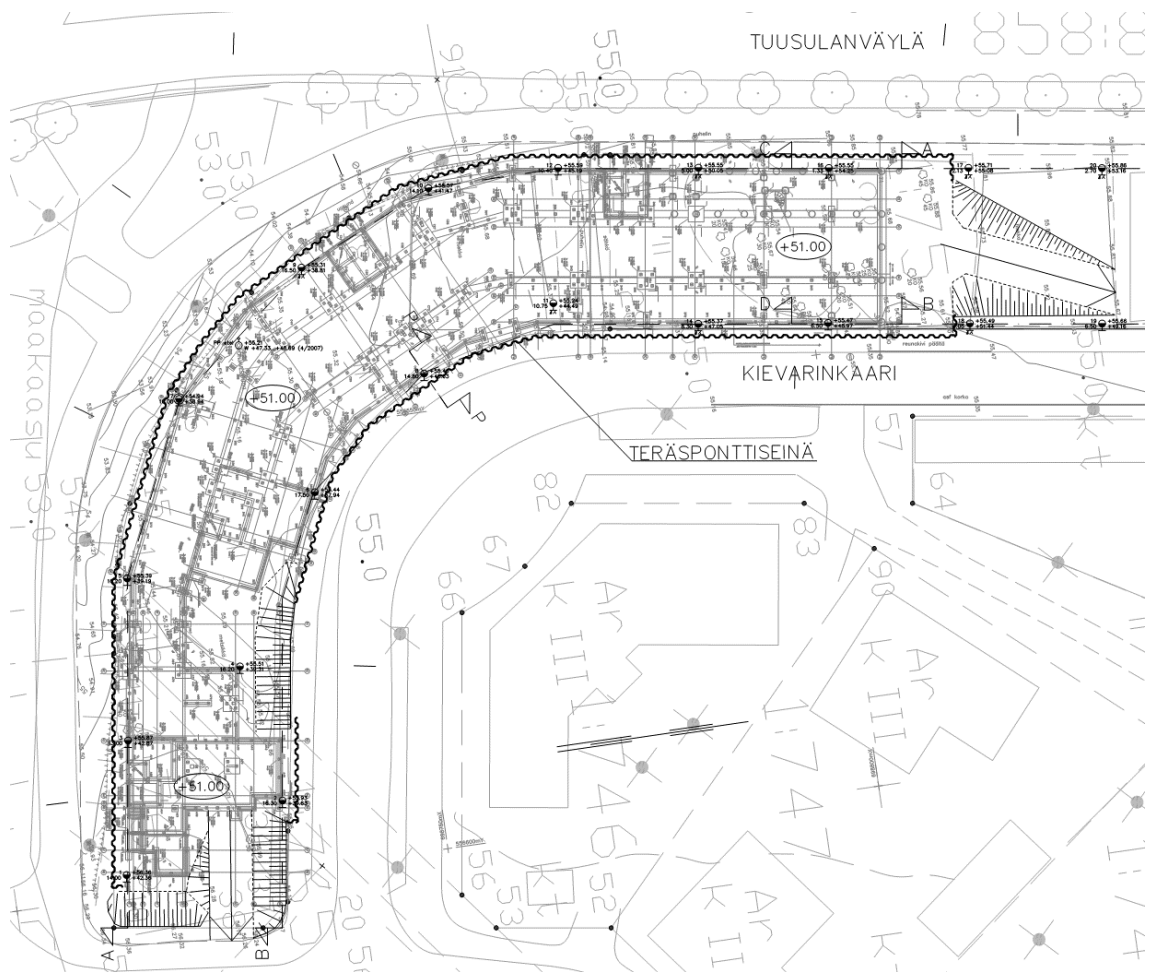
Etälukujärjestelmässä lähetinyksikkö lähettää tiedot palvelimelle tekstiviestimuodossa. Tekstiviesti sisältää kunkin mittauskerran mittaustiedot, akun varausprosentin ja mittauskellonajan. Tekstiviesti menee operaattorin kautta pilvipalvelimella sijaitsevaan tietokantaan. Mittauslaitteiden asetuksia pystytään myös muuttamaan etänä ohjaustekstiviesteillä. Myös laitteen laajemmat statustiedot kuten GSM-kentän voimakkuus voidaan kysyä laitteelta tekstiviestillä. (Finnmeas, S. Ylönen)

Tekstiviestit menevät operaattorin kautta pilvipalvelimella sijaitsevaan tietokantaan ja ovat siellä luettavissa kuvaajina. Web-palvelu sijaitsee kokonaisuudessaan myös pilvipalvelimella ja käyttäjät pääsevät tarkastelemaan mittaustuloksia omilla tunnuksillaan.

4 Esimerkkikohteet

4.1 Työmaa 1

Tutkimuskohteena 1 oli Hyrylässä rakennettavan kerrostalotyömaan kaivannon tuenta (kuva 18). Kaivanto sijaitsee kahden tien välissä ja tukiseinien siirtymillä olisi ollut vaikutuksia teiden kuntoon. Työmaalle päätettiin sijoittaa load cell anturit reaaliaikaisella mittauksella seuraamaan ankkurivoimien kehittymistä. Osa ankkureista toteutettiin maa-ankkureina, kun taas osa ankkureista tehtiin kallioankkureina.



Kuva 18 Työmaa 1 tuenta (Severi Anttonen)

Työt työmaalla päästiin aloittamaan joulukuussa 2012 ja tukiseinän nosto tapahtui 2013 heinä-elokuussa.

4.1.1 Alkuperäinen mitoitus

Kaivannon tuenta oli alkuperäisen suunnitelman mukaan tarkoitus toteuttaa teräsponsilla, jonka taivutusvastus $W > 1200 \text{ cm}^3/\text{m}$. Ponttien alapää tuli saattaa tasolle +49.0. Jos tätä tasoa ei saavutettu kalliopinnan ollessa kaavailtua ylempänä, ponttien alapää tuli varmistaa halkaisijaltaan 32 mm juuritapein, jotka porattaisiin 500 mm kallioon. Tukiseinä toteutettaisiin kahdelta tasolta läpi-injektoitavilla tankoankkureilla Titan 40/16, joilla tartuntaosuuden pituus olisi 6-10m. Ankkurien jako olisi 4 m, jos käytettäisiin kuormantasauspalkkina (He 260 B). Toinen vaihtoehto olisi jättää kuormantasauspalkki pois ja käyttää ainoastaan aluslevyjä tällöin ankkurijakona olisi 2,4m. (Liite 1)

Titan 40/16 ankkurin kapasiteetti edellä mainituilla mitoilla olisi karkealla soralla. (kaava 5, jolla lasku 1)

$$F = \frac{10m \times \pi \times 0,09m \times 1,5 \times 200 \text{ kN/m}^2}{2} \quad (\text{kaava 5})$$

Josta saadaan $F = 420 \text{ kN}$ tartuntavoima

4.1.2 Vaihtoehtoinen suunnitelma

Suunnitelmaa päätettiin muuttaa, jotta saataisiin ankkurien määrä pienemmäksi. Päädettiin tekemään tuenta yhdeltä tasolta käyttäen punosankkureita kallioankkureina sekä maaankkureina, jos tartuntapituus saadaan aikaiseksi ennen kalliokontaktia. Vaadittu tartuntapituus maa-ankkurille oli 15m karkealla soralla. Varmuuserrointa pienennettiin 1,5:een koska ankkurivoimia voitiin tarkkailla load cell antureilla. Ankkureihin laitettiin 4 kpl $\varnothing 15,7 \text{ mm}$ (1550/1770 N/mm²) punosta. Maa-ankkurit porattiin 110mm ulkohalkaisijalla olevalla OD porauskalustolla, jolloin maa-ankkurin halkaisijaa voitiin myös pitää 110 millimetrinenä. (kaava 6, jolla lasku 2)

$$F = \frac{15m \times \pi \times 0,11 \times 200 \text{ kN/m}^2}{1,5} \quad (\text{kaava 6})$$

Josta saadaan $F = 691 \text{ kN}$ tartuntavoima

Kallioankkurit suunniteltiin tehtäväksi 5m tartunta osuudella, jolloin neljän punoksen ankkurin kapasiteetiksi saatiin 880kN. Koevetovoimaksi määrättiin 660kN voima, jolla koestettiin myös maa-ankkurit. Jättövoimaksi ankkureille määrättiin 508kN. Kuormantauspalkki säilytettiin He260b:nä suunnitelmissa. Ankkureiden kaltevuus muutettiin 24 asteesta 45 asteeseen. Tämä lyhentää huomattavasti kallioankkureiksi suunniteltujen ankkureiden vapaata osuutta. Teräsponttien pituutta muutettiin ankkureiden kohdalla. Katsottiin ettei pontin kärkivastus riitä ankkureiden muutoksesta 45 asteeseen johtuvan pystykomponentin kasvamisen vastaanottamiseen. Ankkureiden kohdalle päätettiin lyödä 12m teräspontit kärkivastuksen parantamiseksi. Myös tukiseinien tarkkailua piti tehostaa muuttuneen suunnitelman myötä. Urakoitsija päätyi käyttämään Load cell antureita, jotta pysyisi ajan tasalla mahdollisista ankkurivoimiin kohdistuvista muutoksista.

Näillä muutoksilla ankkurijako pidennettiin 4,2 metriin sekä toinen tukitaso jätettiin kokonaisuudessaan pois, näin ankkurien määrää saatiin pudotettua tuntuvasti (liite 2).

4.1.3 Tuennan toteutus

Teräsponttien asennus päästiin aloittamaan marraskuun loppupuolella maan ollessa vain vähän roudassa. Pontit saatiin asennettua tavoitesyvyyteen melkein koko työalueella, mutta pohjoispuolella työmaata kallion pinta oli paikoin korkeammalla kuin ennakkotiedoissa. Näin ollen tukiseinän alapää piti varmistaa suunniteltua laajemmalta alueelta juuritapein. Ensimmäisiä ankkureita päästiin poraamaan myös marraskuun loppupuolella. Maanrakentajalla oli kiire päästä suorittamaan kaivutöitä kaivannossa, joten kaarimaisen kaivannon molempia sivuja ankkuroitiin vuoronperään. Urakoitsija suoritti palkituksen He300b palkilla ja käytti omia valmiiksi rakennettuja ankkurikoteloitaan. Palkit kiilattiin huolella polttoleikkeillä tukiseinään. Puuta käytettiin kiilauksessa ainoastaan urakoitsijan omien ankkurikoteloiden ja palkin väliseen kiilaukseen. Palkit hitsattiin jatkuvaksi rakenteeksi, palkin jatkoksissa käytettiin 350x350x20 teräslevyjä. Ankkureita porattiin yhteensä 36 kpl, joista 30 kpl kallioankkureita ja 6 kpl maa-ankkureita. Kaikkiin ankkureihin asennettiin 4 kpl punoksia.

Ankkureiden jännityksessä käytettiin ulkopuolista aliurakoitsijaa. Aliurakoitsijalta vaadittiin jännityskalustoksi nippuvetolaite jolla voitiin kuormittaa koevedossa kaikki punokset kerralla. Koevedosta kirjattiin ylös ankkuripunoksien venymät sekä tukiseinän mahdolliset siirtymät. Kotelorakenteita tarkkailtiin mahdollisten muodonmuutosten varalta. Ankkurien kiilat ja lukkolevyt tulivat suoraan aliurakoitsijalta. Näiden täytyy olla yhteensopivia keskenään jotta lukkorakenne on luotettava ja toimiva.

4.2 Load cell anturit

Työmaalle sijoitettiin 4 kappaletta Load cell antureita, jotka yhdistettiin kahteen lähetyslaitteeseen. Kaksi antureista sijaitsi kaarimaisen kaivannon itäpuolisella sivulla ja kahden piti sijaita Tuusulanväylän puoleisella länsisivulla. Mittareina käytettiin 1500kN kapasiteetin omaavia load cell antureita. Antureista toimitettujen kalibrointitodistusten mukaan mittarit olivat erittäin tarkkoja. 650 kN voimalla virhettä oli suurimmillaankin vain +0,23% (liite 1) eli mittauksissa päästäisiin ± 2 kN tarkkuuksiin.

Mittareita asennettaessa koevedon yhteydessä yhdessä mittarissa huomattiin vuoto tiivisteiden kohdalla. Uuden mittarin saaminen maahantuojalta olisi kestänyt kolme viikkoa. Tämä viive olisi ollut liian suuri kaivutöiden edistymisen kannalta, joten mittaukset päätettiin toteuttaa kolmella mittarilla.

4.2.1 Asennus ankkurirakenteeseen

Load cell anturi tulee mitoittaa asennettavaan ankkuriin riittävällä varmuudella kuormien suhteen. Load cell antureita on myös saatavilla sisähalkaisijaltaan monen kokoista ja tämä on hyvä huomioida anturia mitoittaessa. Liian suuri sisähalkaisija anturissa kasvattaa koko anturin kokoa ja voi tuoda ongelmia anturia asennettaessa. Liian pieni sisähalkaisija taas estää ankkuripunoksia levittymästä vapaasti. Anturi asennetaan kahden kuormantauslevyn väliin kelluvaksi, jolloin ankkuriin kohdistuva paine kulkee anturin läpi (kuva 15).

4.2.2 Mittausvirheet

Mittaustietoja alkoi saapumaan heti ensimmäisen load cellin asennuksen jälkeen. Ensimmäiseksi huomio kiinnittyi saavutettuun voimaan, joka ensimmäisellä mittarilla jäi vain 400 kN:iin, vaikka voiman olisi pitänyt olla tunkin mittarien mukaan 508kN. Tätä voiman häviön syytä oli hankala määrittää ilman tarkempia tutkimuksia, mutta ero on huomattava, koska sekä tunkista ja tunkin voimayksiköstä, että load cell antureista molemmista löytyi voimassa olevat kalibrointitaulukot (liite 2). Ensin mieleen tuli lämpötilan vaikutus, olihan jännityshetkellä pakkasta kuitenkin monta astetta, mutta lämpötilan vaikutus pitäisi olla poissuljettu, koska järjestelmässä on lämpötilan huomioonottava korjaus tai niin laitteen valmistaja ainakin vakuuttaa. Päätettiin kokeilla staattisella kuormituksella tunkin ja load cellin voimien ero. Tämä toteutettiin asentamalla ylimääräinen load cell-anturi yhteen ankkuriin. Tämän jälkeen tunkilla vedettiin ankkurin punoksiin tunkinmittarin osoittama 500 kN:in voima (kuva 19). Mittausväli anturissa muutettiin 4 minuuttiin ja tehtiin reaaliaikaista vertailua tunkin voiman ja anturin voiman välillä. Tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa. (taulukko 1)

Taulukko 1: Koevetotulokset tunkin ja load cell:in välillä

Aika [min]	Tunkin voima [kN]	load cellin [kN]	Erotus [kN]
4	500	450	50
8	502	451	49
12	499	448	51
16	500	450	50
20	500	450	50
ka	500	450	50

Staattisella koekuormituksella todettiin että tunkin ja load cell:in välillä olisi 50 kN ero. Koska kaksi load cell:iä sekä osa ankkureista oli jännitetty jo tunkin osoittamilla voimilla, päätettiin luottaa tunkin osoittamiin voimiin ja työmaalla jännitettiin kaikki ankkurit samalla kalustolla tiedostaen mahdollinen 50 kN virhe ankkurien voimissa.

Varmuus eroon mittaustuloksissa saadaan, kun saamme anturit irti ankkureista ja pääsemme koestamaan ne hallituissa olosuhteissa.

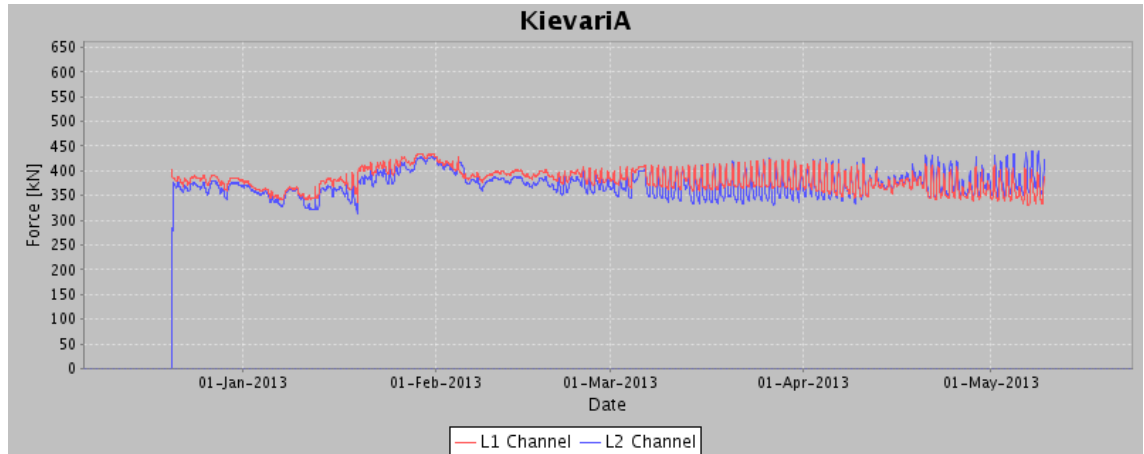
Mistä tämä 50 kN voiman häviö sitten voisi johtua? Voiko tämä johtua kiilojen kiristymisestä? Tunkilla, jolla ankkurit jännitettiin, ei ollut mahdollista painaa kiiloja kiinni hydraulisesti, vaan punokset ns. vedettiin yli ja annettiin kiilojen asettua paikalleen punoksesta tulevan jännityksen avulla. Tunkki oli siis varustettu ”release platella”; tällöin kiilat liikkuvat punoksen mukana noin 5-10mm ennen kuin pääsevät lukkiutumaan. Voiko voimien häviö johtua tästä? Toinen mahdollinen syy on seinien siirtyminen jännityksen aikana tai kotelorakenteen pettäminen, mutta näitä liikkeitä ei ollut havaittavissa. Kaikissa load cell:ien varustetuissa ankkureissa on kuitenkin huomattavissa jännityksen jälkeen pientä voiman hiipumista. Onko tähän syynä sitten seinän liike vai kiilojen asettuminen, se jää vielä mysteeriksi.



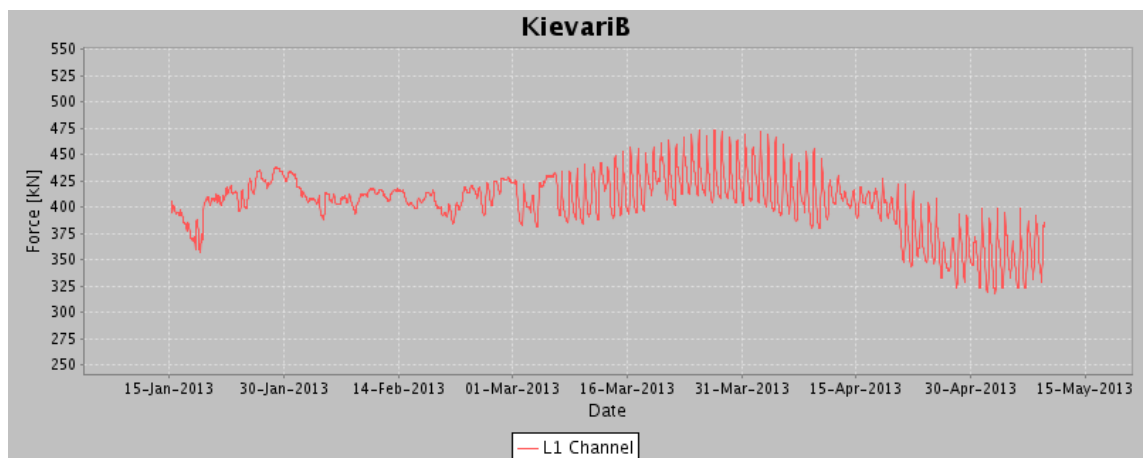
Kuva 19 Tunkkaus käynnissä (VP Kaikkonen)

4.3 Mittaukset

Mittaukset toteutettiin kahdella lähettimellä. A-lähettimellä lähetettiin itäpuolen tiedot palvelimelle ja B-lähettimellä länsipuolen anturin tiedot. Mittauksista saatiin palvelimelta helposti tulokset ulos analysoitavaksi. (kuvat 20 ja 21)

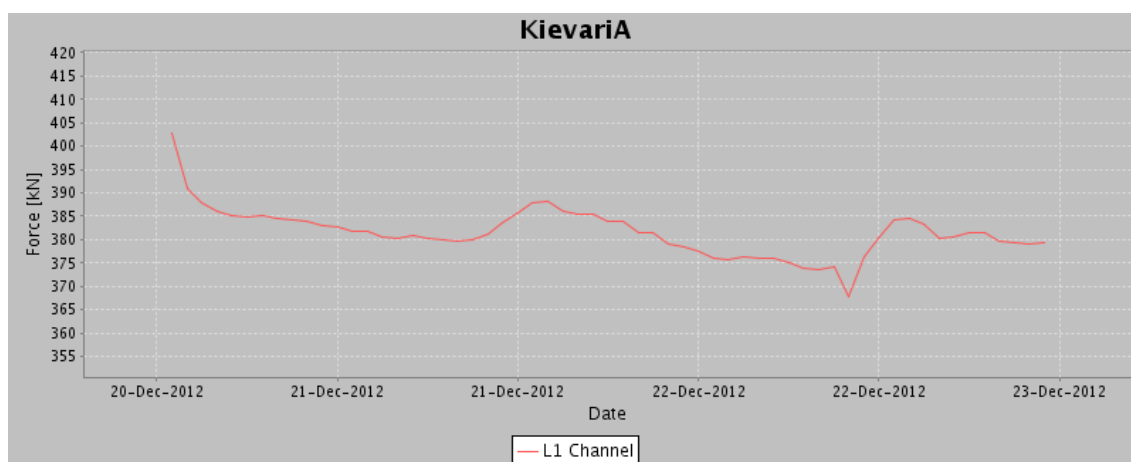


Kuva 20 Itäpuolen load cellit tulokset

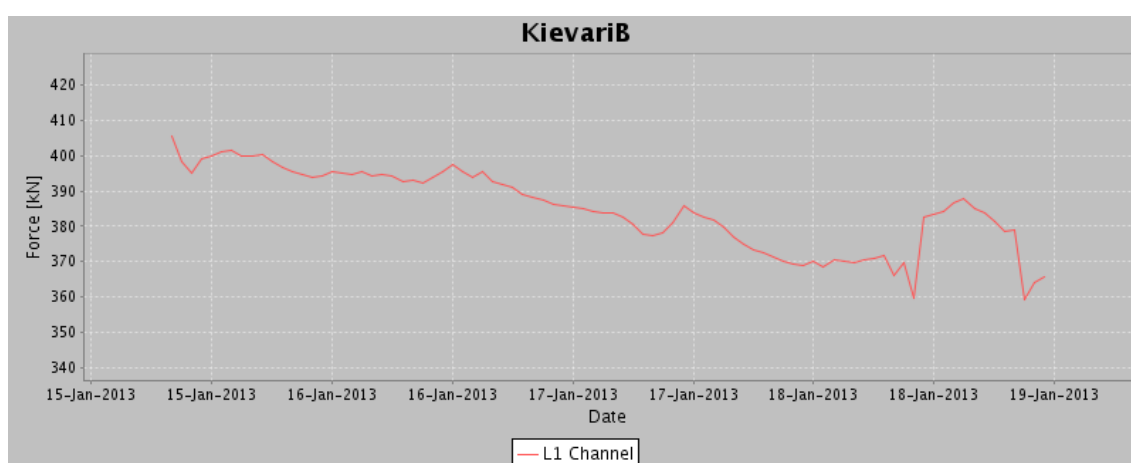


Kuva 21 Länsipuolen load cell tulokset

20.12 ja 15.1 jännityksien jälkeen on mittaustuloksissa selvästi nähtävissä jännityksen jälkeinen hiipuminen voimatasoissa. (kuvat 22 ja 23)



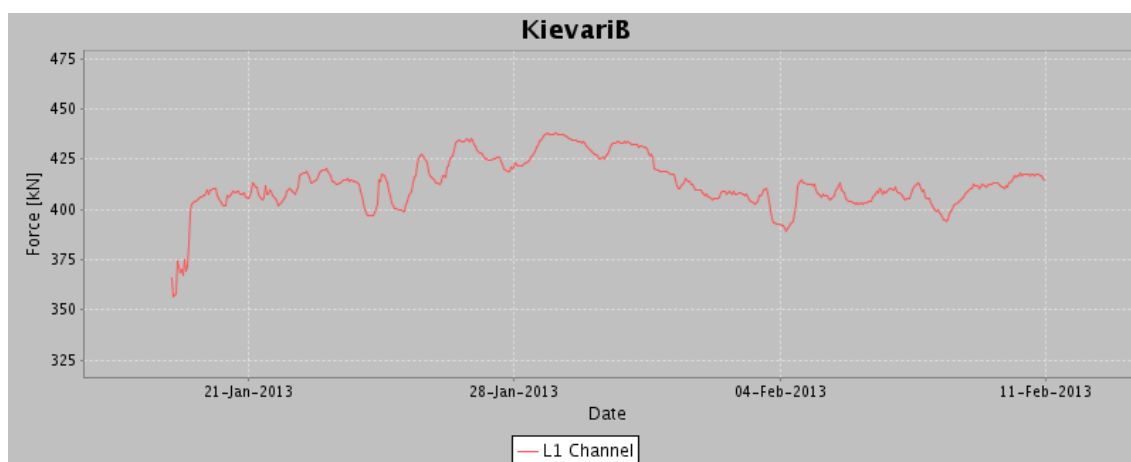
Kuva 22 Itäpuolen load cell nro1 jännityksen jälkeinen hiipuminen



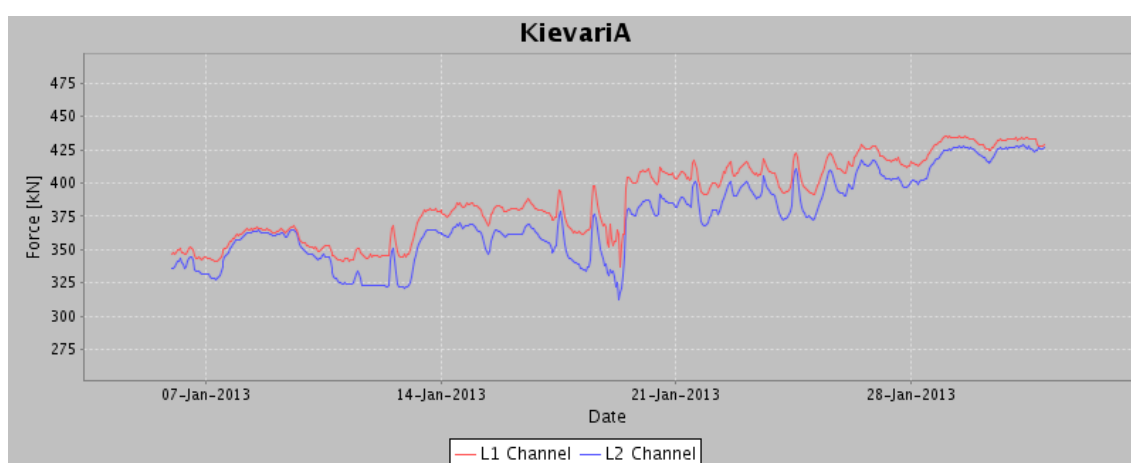
Kuva 23 Länsipuolen load cell jännityksen jälkeinen hiipuminen

Kuvaajista (kuvat 22 ja 23) on luettavissa 40 kN voimien tippuminen 400 kN voimasta. Prosentuaalisesti tämä tarkoittaa 10% voimahäviötä parin ensimmäisen päivän aikana. Tämän häviön syy ja suuruus olisi hyvä selvittää. Onko hävikki sama myös suuremmilla ankkureilla vai nouseeko voiman häviö suhteessa ankkurivoimiin?

Kuvaajasta (kuvat 24 ja 25) on myös selvästi luettavissa, milloin kaivutyöt (20.1.2014) on ulotettu mittarien vaikutusalueelle. Voimat nousivat saman tien takaisin jättövoimiin. Missään vaiheessa kaivutöiden aikana voimat eivät kuitenkaan nouse edes 500 kN vaan aaltoilevat länsipuolella 425-475 kN ja itäpuolella 350-425 kN välillä.



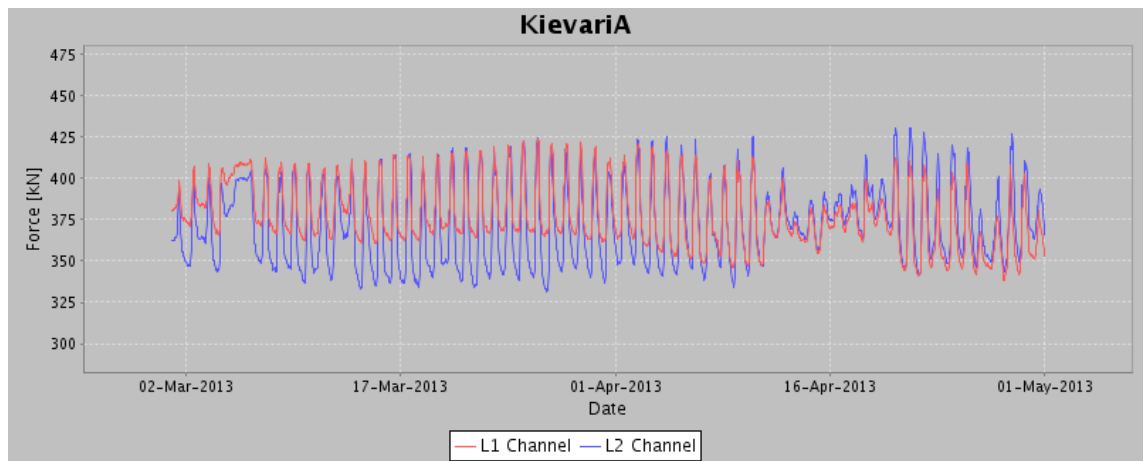
Kuva 24 Kaivuutöiden vaikutus



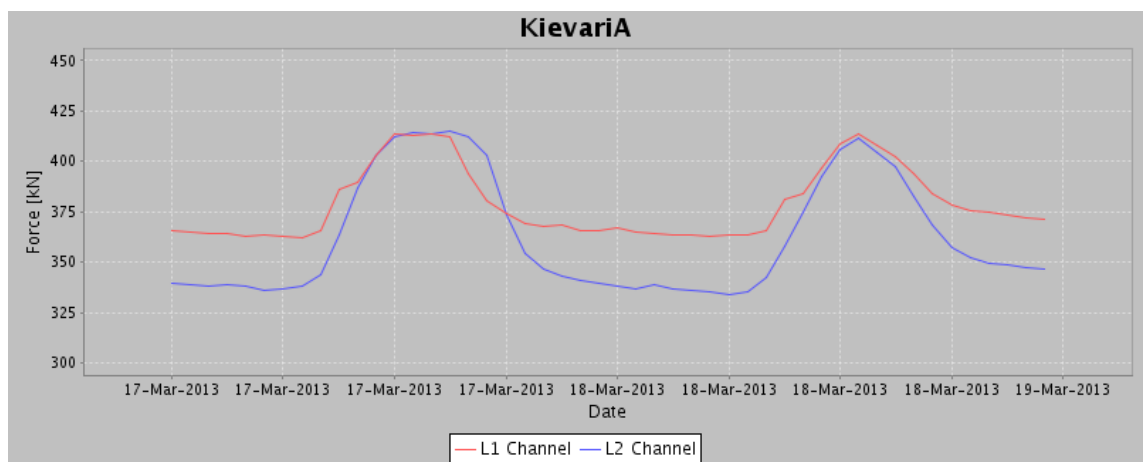
Kuva 25 Kaivutöiden vaikutus

Kerrostalo perustettiin paalujen varaan ja paalutus tehtiin kaivun jälkeen kaivannon pohjalta. Paalutuksesta ei ilmennyt merkittäviä vaikutuksia tukiseinälle. Pikemminkin kuormat ankkureille pienenevät paalukoneelle tehdyn työpedin takia.

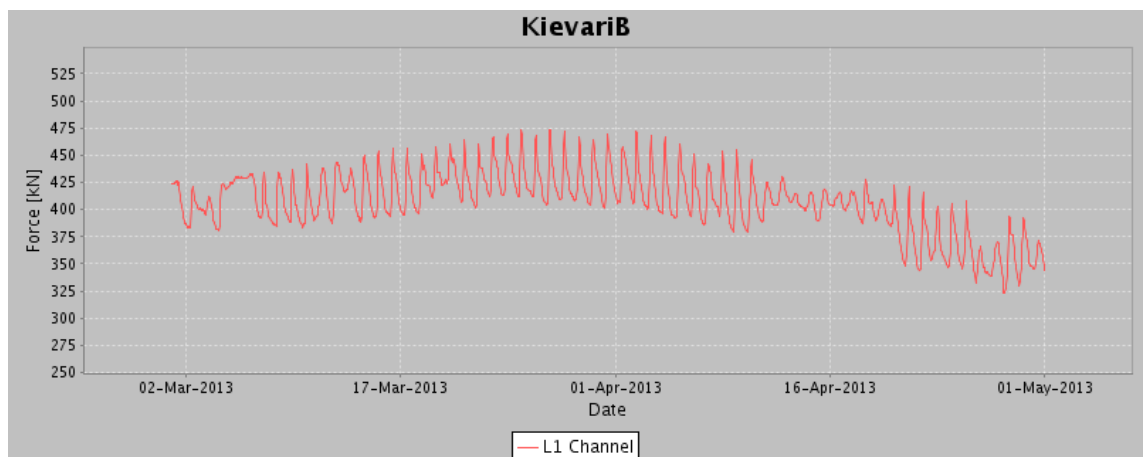
Kun aurinko alkoi nousta korkeammalle taivaalle ja rupesi lämmittämään päivää, vaikutus näkyi mittaustuloksissa yllättävän suurena vuorokausivaihteluna (kuvat 26-29). Voisiko aaltoilu johtua maaperän sulamisesta tukiseinän takana? Liike jatkuu pitkälle toukokuulle, joten routa alkaa olla pois suljettu asia, mutta varmaa on että tämä liittyy lämpötilan muutoksesta johtuvaan jännityksen muutokseen.



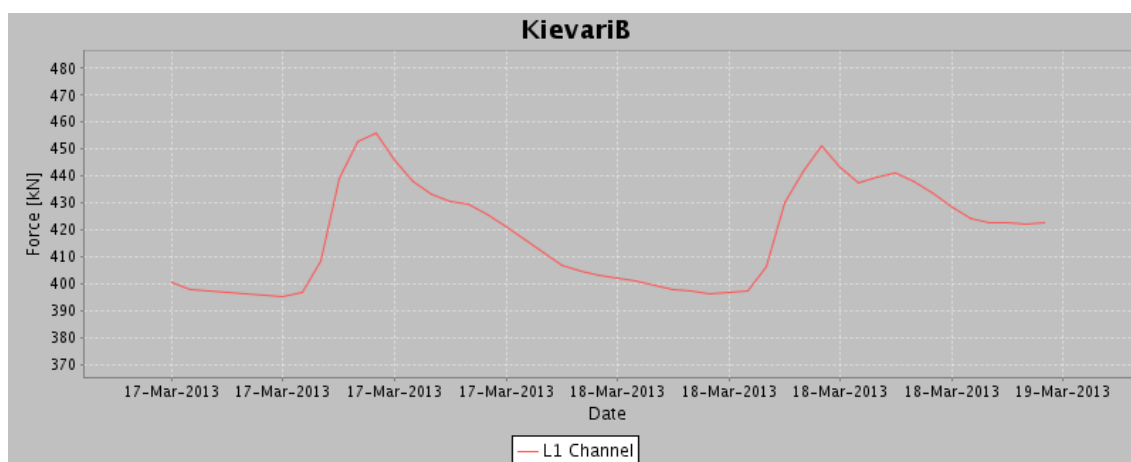
Kuva 26 vuorokausivaihtelua maaliskuu-toukokuu, itäpuoli



Kuva 27 vuorokausivaihtelua 17-18.3, itäpuoli

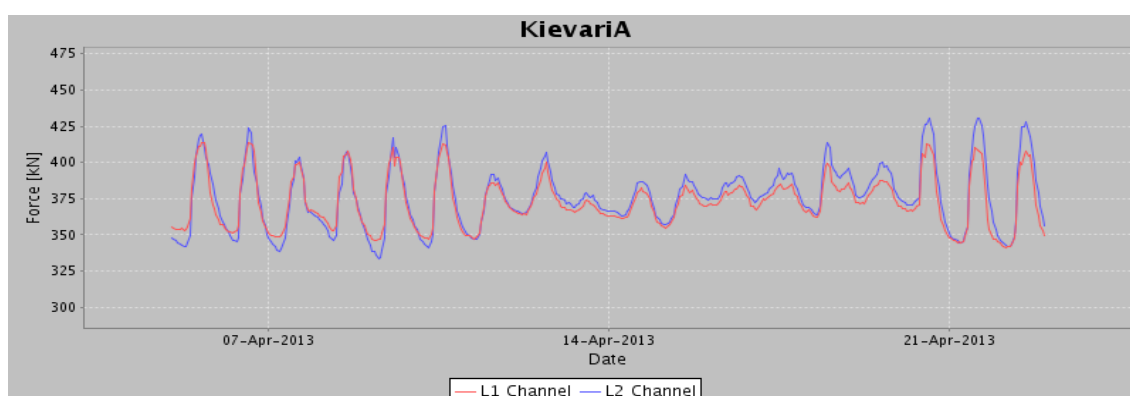


Kuva 28 Vuorokausivaihtelua maaliskuu-toukokuu, länsipuoli



Kuva 29 vuorokausivaihtelua 17-18.3, länsipuoli

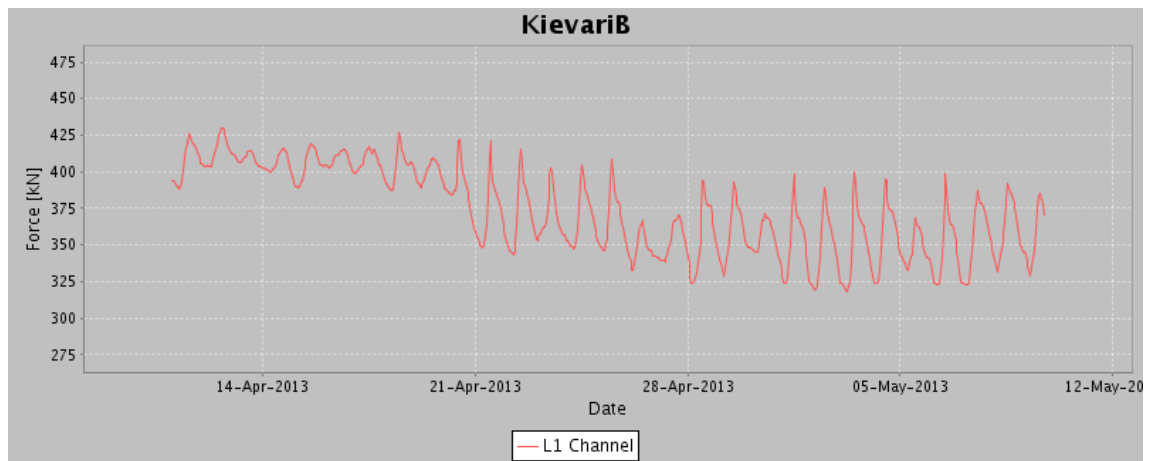
Kaikissa antureissa näkyy 12-20.4 välisenä aikana pienemmät erot lämpötilan vaihte-
luissa (kuvat 29 ja 30). Säätiöjen mukaan tällöin vuorokausivaihtelu on ollut pienim-
millään vain 5-6 asteen tasolla, kun taas muulloin vuorokausivaihtelu on ollut 10-13 as-
teen välillä.



Kuva 30 vuorokauden lämpötilanvaihtelu pienimmillään

Lämpötilavaikutusta pystytään pienentämään suojaamalla anturit suoralta auringonva-
lolta.

Täyttötyöt saavuttivat ankkurin jossa load cell on kiinni (kuva 31). Täyttö tehtiin kallio-
murskeella, joka tiivistettiin hyvin. Täyttö tehtiin ankkurointipalkin alareunaan asti. Tii-
vistetty täyttö näkyy kuvaajissa ankkuriin kohdistuneen voiman putoamisena.



Kuva 31 Lopputäyttö saavutti load cell varusteisen anturin, länsipuoli

5 Työmaa 2

Toisena kohteena ankkurien voimatasoja seurattiin Lappeenrannassa, kauppakeskus Isokristiinan työmaalla (kuvat 32 ja 33).



Kuva 32 Työmaa 2 Lappeenrannan Isokristiina (Niko Asikainen)

5.1 Tuennan toteutus

Isokristiinan tukiseinät toteutettiin kaivinpaaluseininä, jotka ankkuroitiin läpi-injektoitavilla maa-ankkureilla (kuva 33). Ankkureita asennettiin kahteen tasoon neljälle seinälle. Seinät nimettiin katujen mukaan: Raatimiehenkatu, Kaivokatu, Villimies ja Brahenkatu. Ankkurit porattiin raudoittamattomien kaivinpaalujen läpi. Ankkurit tuli asentaa siten, että maa-ankkurin tartuntaosuus ei ulottuisi kaivinpaalun alareunasta mitattuna 28 asteen kulmassa olevalle vyöhykkeelle. Tällä alueella ankkuritanko tuli huuhdella tai irrottaa maaperästä suojaputkella. Tartuntaosuuden pituus maa-ankkureissa oli 6-7,5 m. Ankkurit porattiin 20 asteen kulmaan. Ankkureissa ei käytetty yhtenäistä kuormansiirtorakennetta, vaan ankkurijaon ollessa 1,5m konsolirakennetta ei tarvinnut tehdä. Tällöin ankkurin aluslevylle tehtiin paaluun kolo jota vasten ankkuri jännitettiin. Jos ankkurijako oli 3 m, tuli ankkurille tehdä konsolirakenne, joka sitoi ankkuroitavan ja viereiset raudoitetut kaivinpaalut (kuva 33). Ankkureiden koivetovoimat olivat 873 kN 73/53 tangolle ja 657 kN 52/26 tangolle. Ankkureihin jätettiin suunnitelmien mukaiset voimat, jotka vaihtelivat 234 kN ja 514 kN välillä. Ankkureiden jännitys tehtiin työhön soveltuvalla reikätkunkilla,

jonka kapasiteetti riittää 1700 kN asti. Tunkki- ja voimayksikön mittarit oli kalibroitu keskenään valmistajan toimesta.



Kuva 33 Ankkuroitu kaivinpaaluseinä. (Niko Asikainen)

5.2 Load cell anturit

Työmaalle sijoitettiin kaksi load cell anturia jokaiselle seinälle eli yhteensä kahdeksan mittaria. Mittarit pyrittiin sijoittamaan seinän kriittisimpiin pisteisiin tarkkailemaan voiman kehittymistä. Mittarit asennettiin molempiin ankkuritasoihin niin, että ne olivat pystysuunnassa samassa linjassa. Mittareiden mittaustuloksia pystyi seuraamaan reaaliaikaisena pilvipalvelusta.

5.2.1 Antureiden asennus ankkurirakenteeseen

Anturit asennettiin kahden kuormantasauslevyn väliin samalla periaatteella kuin edellisellä Kievarin työmaallakin. Anturi tuli keskittää tarkasti keskelle tankoa, jotta kuorma siirtyisi mahdollisimman tasaisesti anturille (kuva 34).

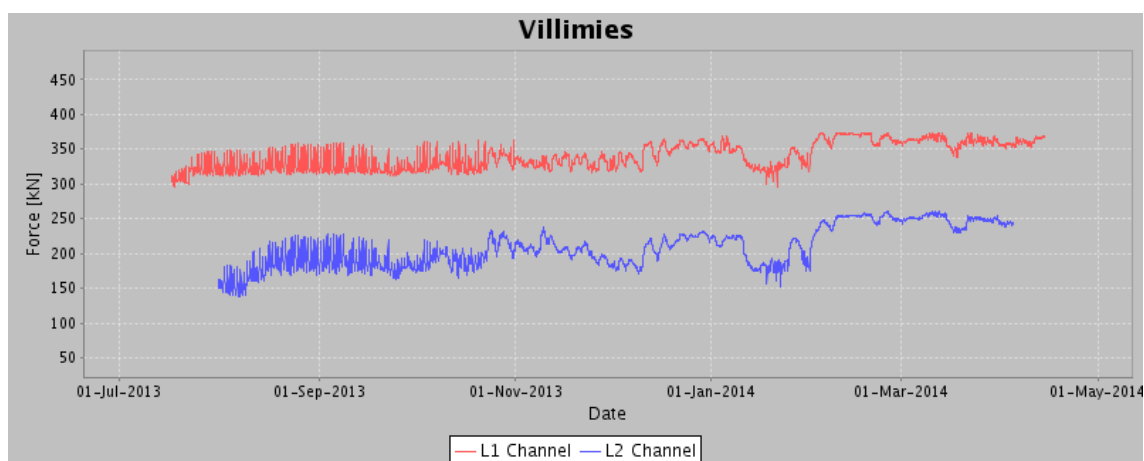


Kuva 34 load cell asennettuna ankkurirakenteeseen. (Niko Asikainen)

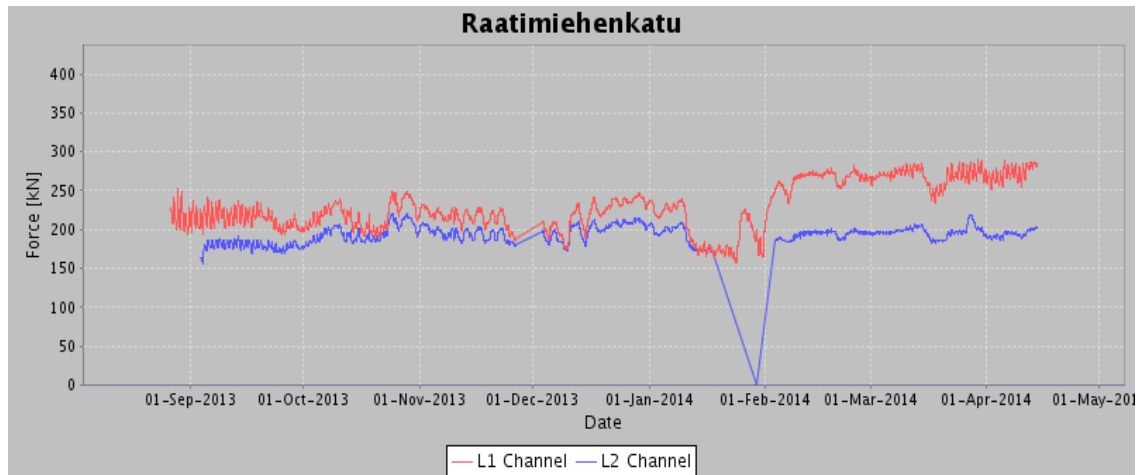
5.3 Mittaukset

Anturit oli kytketty etälukulaitteisiin, jotka lähettivät tietoa kaduittain, eli työmaalla oli 4 eri lähetinyksikköä, jotka päivittivät pilvipalvelimelle tietoa antureiden toiminnasta. Anturien mittaustiheys oli aluksi säädetty tiheämmäksi, mutta akkujen säästämisen takia mittausta haluttiin toteuttaa vain neljästi päivässä. Jokainen mittaripari nimettiin katujen mukaan samoin kuin seinät oli nimetty. Punainen L1 Channel on ylempi antureista tasolla +98.5 ja sininen L2 Channel on alempi antureista tasolla +92.5.

(Kuvissa 35-38 on kuvattu voimien kehitys kaduittain.)

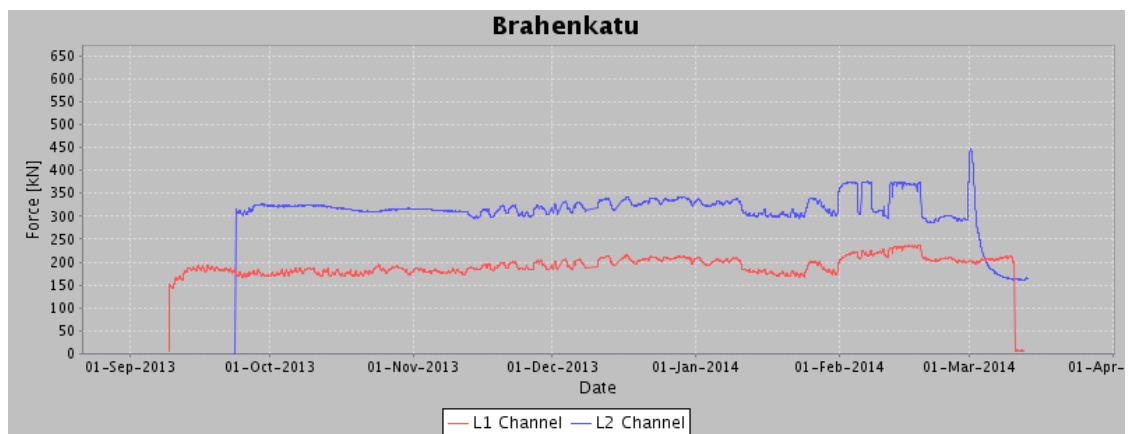


Kuva 35 Villimies-anturit

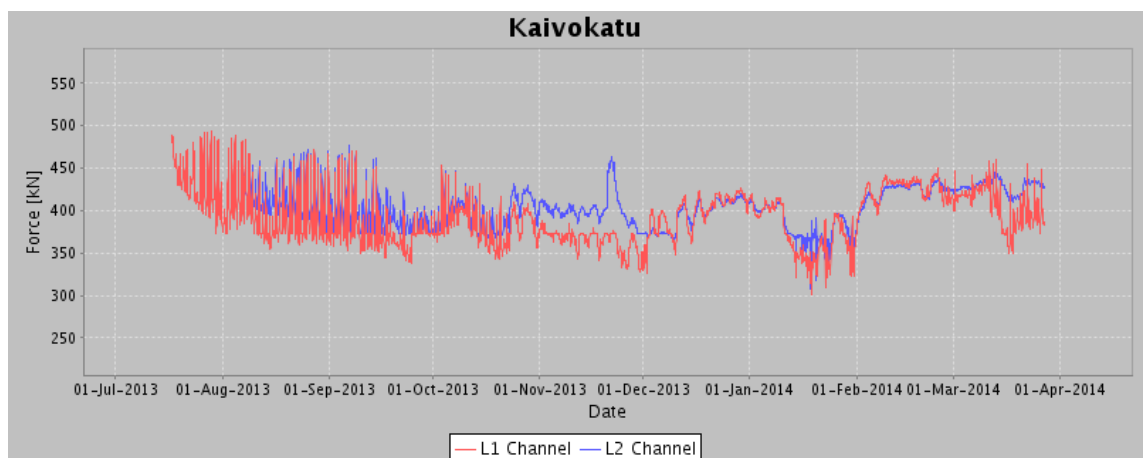


Kuva 36 Raatimiehenkadun anturit

Raatimiehenkadun mittarin akku loppui kesken mittauksen aiheuttaen piikin mittaustuloksiin. (kuva 36)

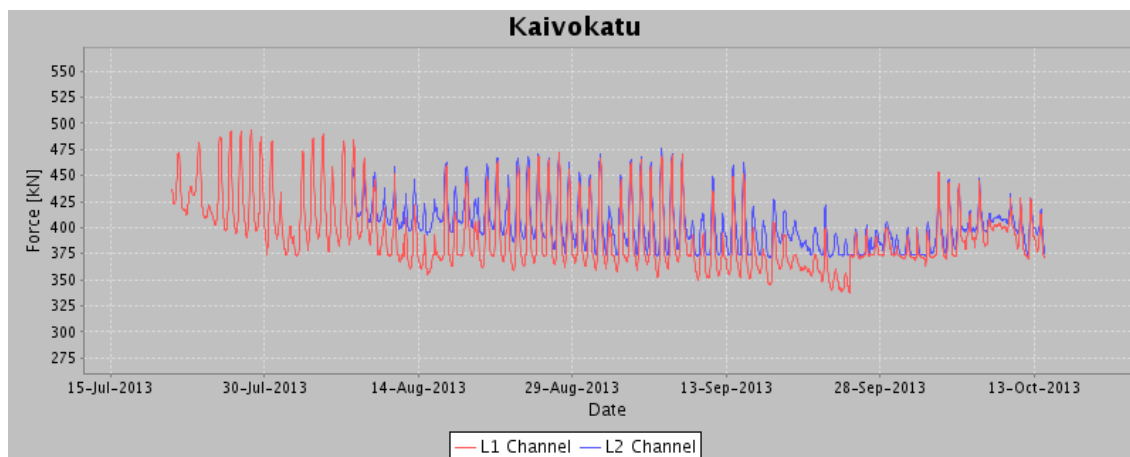


Kuva 37 Brahenskadun anturit



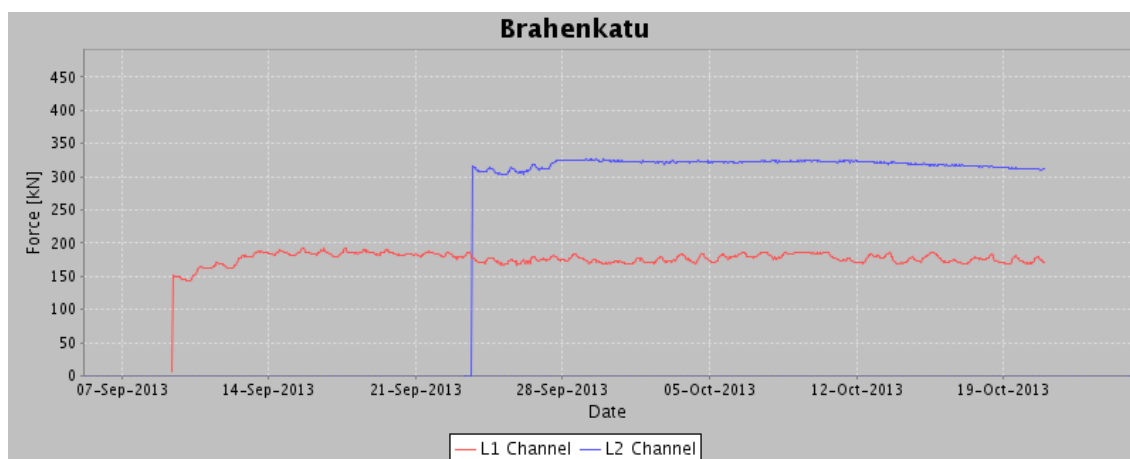
Kuva 38 Kaivokadun anturit

Kuvaajat ovat linjassa keskenään poikkeuksena Brahenkadun kuvaaja. Brahenkadulla tehtiin perustusten vahvistustoimenpiteenä suihkuinjektointi, joka vähentää maanpainetta kaivinpaaluseinän takana. Kuvaajista on luettavissa, milloin anturit ovat olleet suoralle auringonpaisteelle altistuneina. (kuva 39)



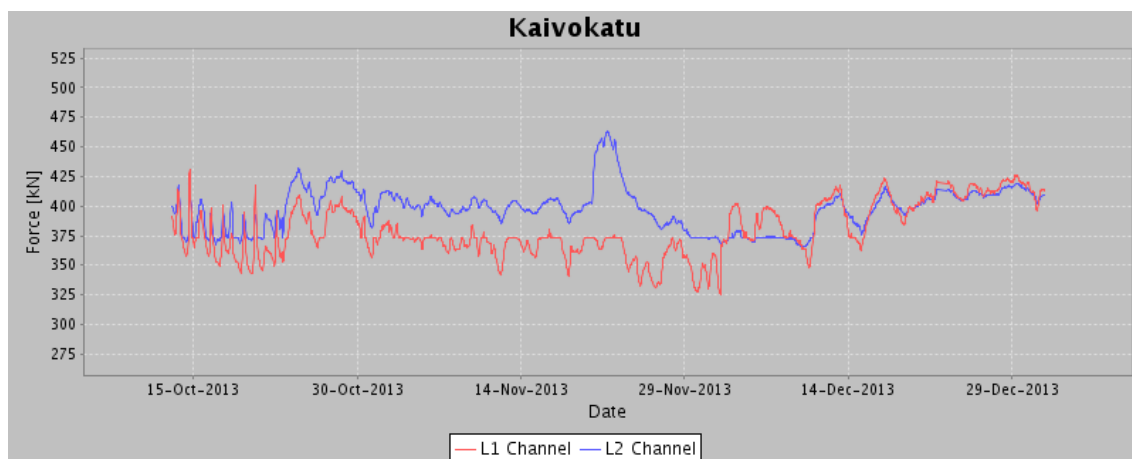
Kuva 39 Kaivokadun anturit ja auringon aiheuttama vaikutus

Vuorokausivaihtelut näkyvät selvästi piikkeinä kuvaajasta. Load cell anturin mittausjärjestelmä ei itsessään ole herkkä lämpötilan muutoksille. Kun anturi yhdistetään ankkuri-rakenteeseen, voimistuu lämpötilan muutoksesta aiheutuva vääristymä. Brahenkadulla anturit olivat varjossa lähes koko ajan. (kuva 40) Kuvaajistakin tämä on luettavissa piikkien puutumisena.



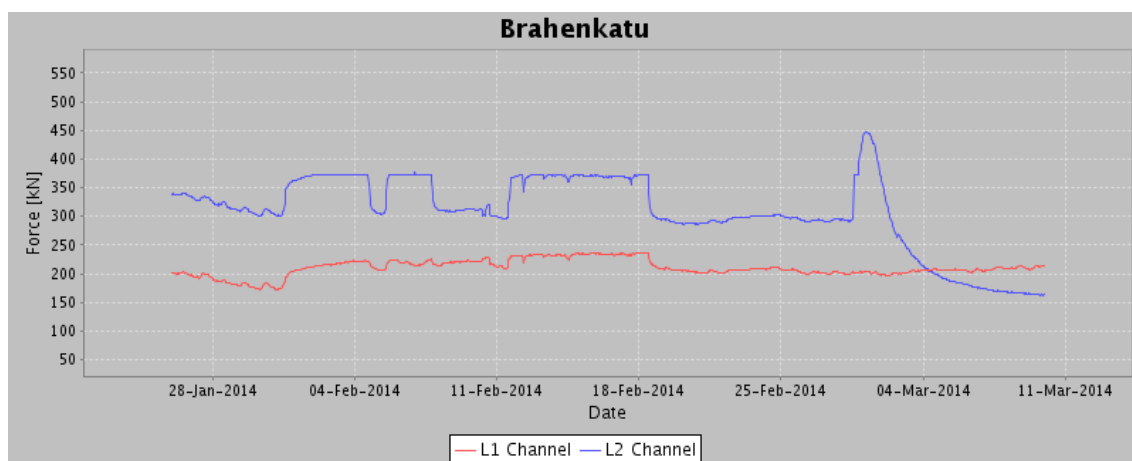
Kuva 40 Brahenkadun anturit eivät olleet suorassa auringonpaisteessa

Lämpötilan vaikutus mittareihin näkyy myös tammikuun lopun pakkasjakson aikana selvänä voimien putoamisena jokaisessa mittarissa. Kuvissa 31-34 tämä näkyy selvänä notkahduksena. Kuvaajista nähdään myös piikkinä milloin on anturavalujen takia jouduttu lämmittämään. Alemman anturin kohdalla on lämmitetty valujen takia 21-23 marraskuuta (kuva 41).



Kuva 41 valujen lämmitykset

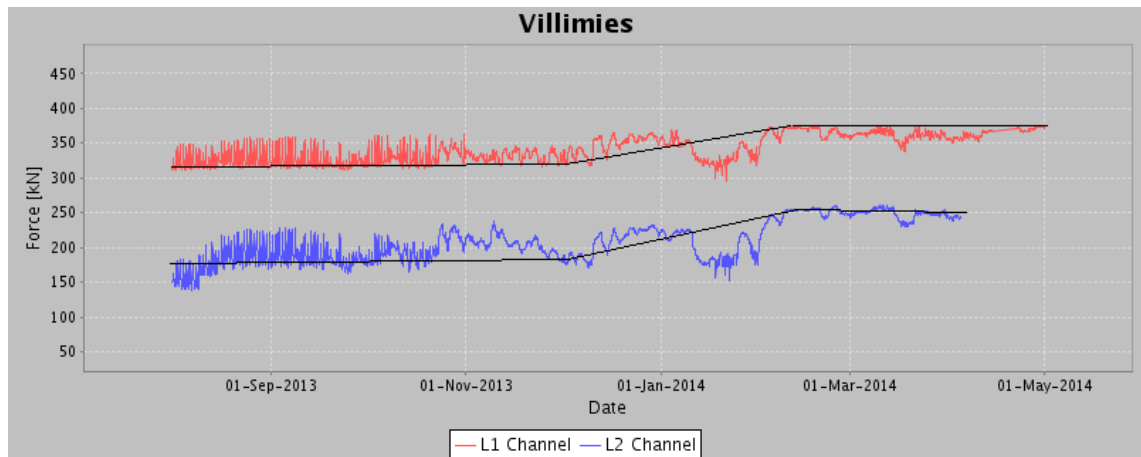
Myös Brahenkadulla anturin läheisyydessä jouduttiin lämmittämään valutöiden takia. Itseasiassa Brahenkadun alin load cell anturi jäi valun sisään (kuva 42) betonointitöiden saavuttaessa load cell:illä varustetun ankkurin.



Kuva 42 Brahenkadun lämmitysvaikutukset

Alemmassa mittarissa näkyy selvästi kolme lämmityksen aiheuttamaa huippua ja viimeisenä huippuna betonoitu load cell anturi (kuva 42).

Muita voimatasojen muutoksia näkyy myös. Yksi tällainen on joulukuun jälkeen alkanut voimien kehittyminen (kuva 43). Tämä näkyy kaikissa muissa paitsi Brahenkadun mittareissa, mutta Brahenkadulla oli tehty suihkuinjektointi perustusten suojaksi. Muiden katujen kohdalla ei suihkuinjektointia ollut tehty. Voiko olla mahdollista, että maanpaine on alkanut vaikuttamaan vasta useamman kuukauden päästä seinien teosta?



Kuva 43 Villimies, voimien kehittyminen

Voimien kehittyminen Villimiehen antureissa on saavuttanut huippunsa helmikuun loppupuolella (kuva 43).

6 POHDINTA

Load cell mittareiden käyttö tukiseinissä antaa reaaliaikaista tietoa tukiseinän käyttäytymisestä ja mahdollistaa puuttumisen ongelmatilanteisiin ennen kuin mitään peruuttamattonta on päässyt tapahtumaan. Load cell mittarien yksinkertainen ja helppo käyttöönotto sujuu työmaalla keneltä tahansa, ja näin päästään pienillä investoinneilla käsiksi tukiseinässä vallitseviin voimiin.

Testityömaiden osalta voimat eivät muodostuneet kovinkaan lähelle mitoitusvoimia, joten olisiko voitu mennä vielä kevyemmillä ratkaisuille ja säästää kustannuksissa? Load cell mittareiden käyttö ja ankkureiden vähentäminen toisi kilpailullistakin etua ja säästöä tiukoille tukiseinämarkkinoille turvallisuudesta tinkimättä, koska nyt nähtäisiin onko riski realisoitunut ja alkavatko voimatasot ankkureissa kohoamaan riskirajoille pakottaen tekemään lisätuentaa.

Työmaa 1:n osalta käytettiin kevennettyä ratkaisua, jossa ankkurien määrää oli laskettu huomattavasti. Tämä mahdollisti urakoitsijalle toimivan tukiseinän tekemisen pienemmillä kuluilla, koska tukiseinän käyttäytymistä voitiin seurata reaaliajassa, ja mahdollisiin ongelmatilanteisiin olisi puututtu, jos niitä olisi esiintynyt. Ongelmatilanteita ei työmaalla ollut ja tukiseinä sekä ympäristö pysyivät kunnossa. Työmaan aikana mittareissa voimatasot eivät hälyttävästi lähteneet kasvamaan tai laskemaan missään vaiheessa, vaan olivat koko työmaan kattavassa tarkastelussa lähellä jättövoimia. Mittauksista nähdään myös punosankkurin jännityksen jälkeinen häviö kaikissa mittauksen alaisissa punosankkureissa. Tätä voiman häviämistä ei esiinny työmaan 2 kohdalla, jossa käytössä oli tankoankkuri mutterilukituksella. Mistä tämä punosankkureihin kohdistunut hävikki johtuu? Onko se kiilojen asettumisesta kiilalevyyn? Johtuuko tämä kenties punosankkurin vapaanosuuden hakeutumisesta paikoilleen? Tähän en vastausta löydä. Toinen suurempi ihmettyksen aihe työmaalla oli huomattavan suuri lämpötilan vaikutuksesta johtuva muutos mittarien voimiin. Mittari itsessään ei paljoa lämpötilan vaihtelusta välitä, mutta onko rakenteella, jolla mittari ankkuriin asennetaan suurempi vaikutus jännityksien vaihteluun? Tästä on parhaillaan TTY:llä tutkimus käynnissä mittauspalveluita tuottavan yrityksen toimesta, joten tähän saamme ratkaisun varmasti pian. Auringon aiheuttama voimatasojen vaihtelu näkyy kuvaajissa selvänä vuorokauden sisällä tapahtuvana muutoksena ja on helposti eristettävissä pois tarkkailtaessa tuloksia.

Työmaan 2 kohdalla ankkureihin asennettiin load cell anturit maa-ankkureihin, joten näillä antureilla voitiin myös tarkkailla kestääkö maa-ankkurin kitkaosuus vai tapahtuuko ankkurissa voimatasojen alenemista ja ankkurin liikkumista. Ainoana mittariyhdistelmänä Kaivokaudun mittareista tällainen on luettavissa, mutta mitään liikettä kaivinpääluseinissä ei huomattu. Muissa mittareissa näkyy jännityksen jälkeinen voimatasojen pieni nouseminen. Työmaan 2 osalta on selvästi luettavissa myös lämpötilavaihteluiden aiheuttama selvä notkahdus. Tammikuussa 2014 oli selvästi muuten lauhaa talvea kovempi pakkasjakso, joka näkyy kaikissa mittareissa selvänä voiman putoamisena. Voimatasot palautuvat pakkasjakson päätyttyä. Työmaan 2 kuvaajista on myös luettavissa voimien kehittyminen joulukuusta 2013 alkaen. Tämä kehitys on luettavissa kaikista muista seinistä paitsi Brahenkadulta, jonne tehtiin perustusten vahvistaminen suihkupäälutuksena, joka pienentää tukiseinälle tulevaa painetta. Onko siis kyseessä maanpaineen kehittyminen? Roudan kehittyminenkin on epätodennäköistä leudon talven takia.

Load cell mittareiden käyttöä tulisi lisätä vaikeissa olosuhteissa tehtävissä rakennuskaivannoissa. Tämä antaisi lisää tietoa tukiseinien todellisesta käyttäytymisestä ja parantaisi mahdollisuutta reagoida ongelmatilanteissa tarpeeksi ajoissa. Mittareilla voidaan myös selvittää ulkopuolisen lyhytaikaisen kuormituksen vaikutus tukiseiniin. Tällaisia ovat esimerkiksi nosturien ja betonointikaluston sijoittaminen tukiseinän viereen.

Mielestäni ankkurivoimien tarkkailua tulisi vaatia rakennettuun ympäristöön rakennettavilla tukiseinillä. Tällä turvattaisiin myös tukiseinien sisäpuolella olevien turvallisuutta ja pystytettäisiin reagoimaan muutoksiin ennen kuin on liian myöhäistä.

LÄHTEET

Arcelor mittal ponttiprofiilit 28.3.2013

<http://www.arcelormittal.com/sheetpiling/page/index/name/usections>

<http://www.arcelormittal.com/sheetpiling/page/index/name/corner-section>

Ruukki RD-seinä esite 28.3.2013

<http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Infra/Tukiseinat%20esitteet%20ja%20ohjeet/Ruukki-Esite-RD-paaluseina.ashx>

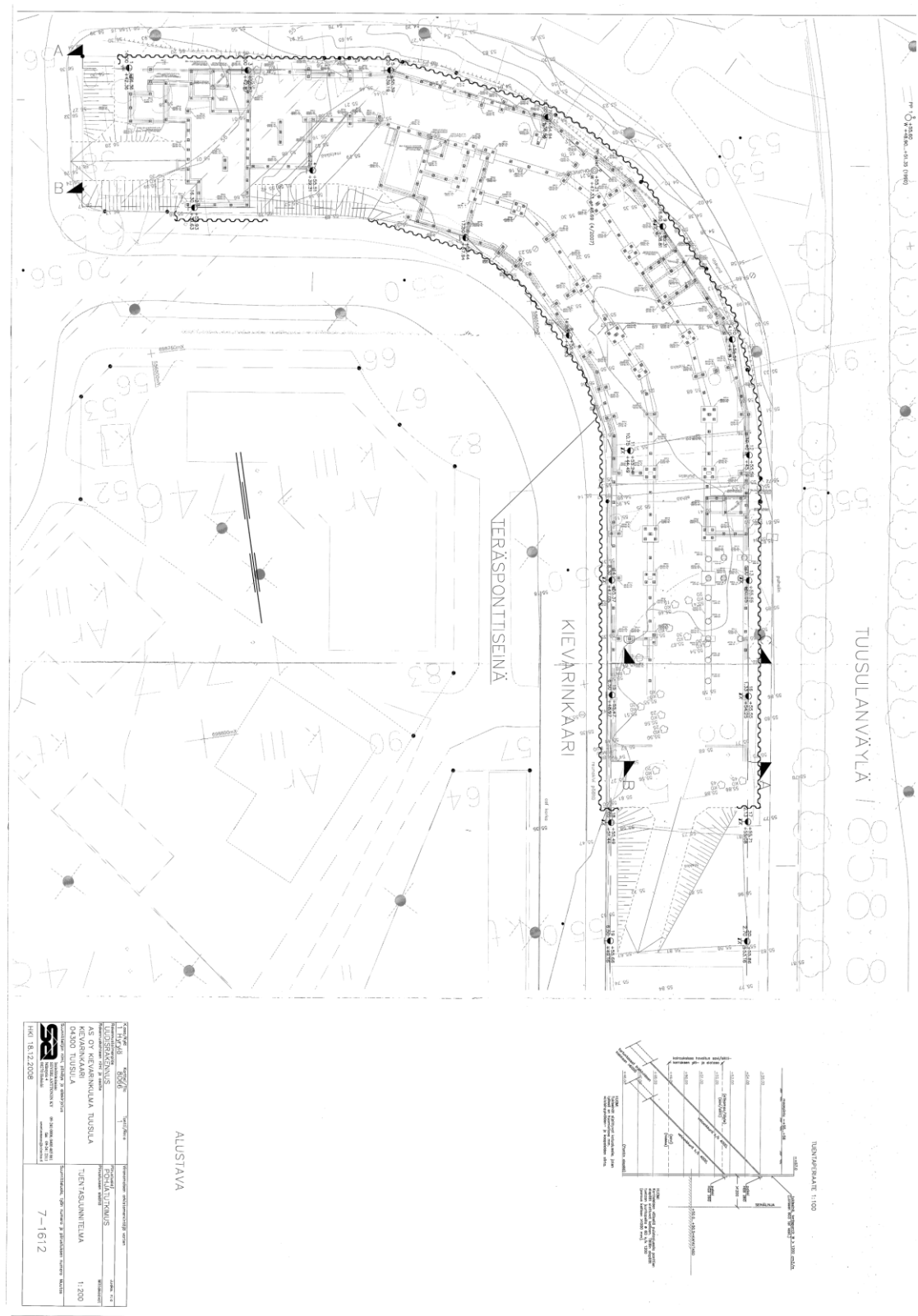
Eronen, S. Teräksiset tukiseinärakenteet, TTKK Geotekniikan laboratorio
julkaisu 32, Tampere 1995 s.86-92.

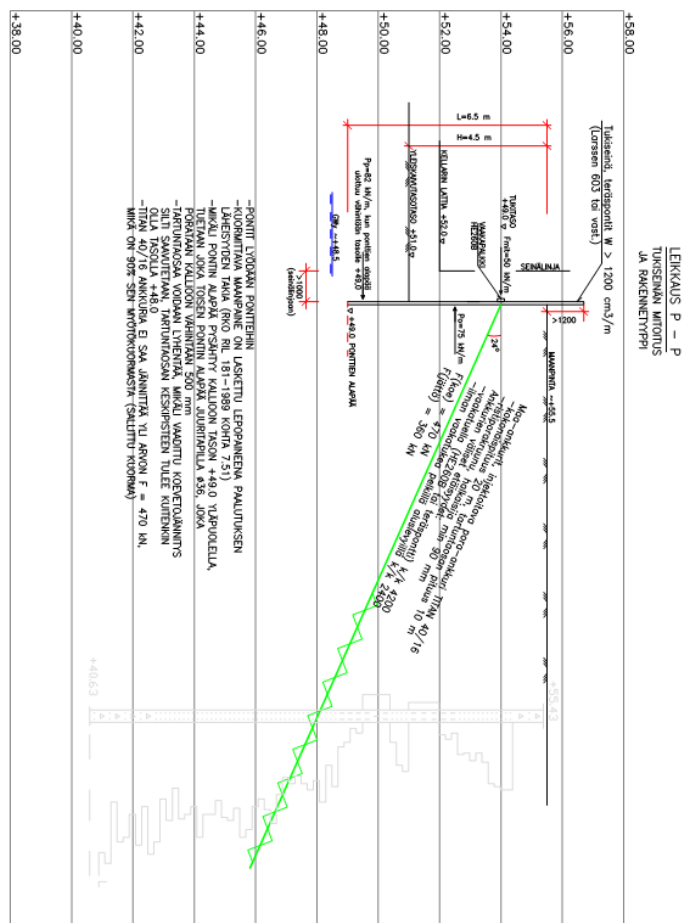
Otava, Jonna

http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/25122/otava_jonna.pdf?sequence=1

Ischbeck Titan

http://www.ischebeck.com/assets/images/geotechnik/en.system8_zoom.gif





TYÖPIIRUSTUS

[illegible]

Liite 3. Kalibrointi taulukot

1(2)

Technologies for Sensors Indicators and Systems



Prüfprotokoll

Certificate / Certificat / Certificado / Certificado

Typ (*): F61481615010
Type / Type / Tipo / Tipo

Bestell-Nr.: 6002446
Order No. / N° de commande / Pedido n°: / N° ordine

Messbereich: 0... 1500 [kN]
Range / Plage de mesure / Rango de medición / Campo di misura

Versorgung: 24 [V]
Supply / Alimentación / Alimentazione

Serien Nr.: K4006369
Serial No. / N° de serie

Ausgangssignal: 4...20 mA
Output signal / Signal de sortie

Erreichte Messwerte:

Reading obtained / Valeurs de mesure obtenues /
Valores de medición obtenidos / Valori di misura ottenuti

Bemerkungen:

Remarks / Remarque / Observaciones / Osservazioni

Druckkraft: (+)

Compression / Compression / Compresión / Compresione

Zugkraft: (-)

Tension / Tension / Tensión / Tensione

Last	Ist	Soll	Ist	Soll	Fehler
Load	Actual	Nominal	Actual	Nominal	Error
[kN]	[kN]	[kN]	mA	mA	[%]
0,0	-0,32	0,00	4,00	4,00	-0,01%
130,0	129,55	130,00	5,40	5,38	0,16%
260,0	259,31	260,00	6,79	6,76	0,16%
390,0	389,23	390,00	8,18	8,15	0,18%
520,0	519,12	520,00	9,57	9,53	0,24%
650,0	649,05	650,00	10,96	10,92	0,28%
780,0	779,02	780,00	12,35	12,31	0,30%
910,0	908,98	910,00	13,73	13,69	0,27%
1040,0	1038,78	1040,00	15,11	15,07	0,26%
1170,0	1168,68	1170,00	16,49	16,46	0,22%
1300,0	1298,55	1300,00	17,87	17,84	0,17%

Hiermit bescheinigen wir, dass vorgenannte Systeme unter Verwendung einwandfreier Werkstoffe nach dem Stand der Technik gefertigt wurden. Die Bestellvorgaben wurden eingehalten. Die Ausführung und Anzeigegenauigkeit der Geräte/Systeme wurden im Rahmen der tecsis Qualitätsmaßnahmen überwacht. Die Qualitätsprüfung ergab keine Beanstandung. /This is to certify that above measuring instruments/systems have been manufactured in compliance with approved technical standards. Only inspection passed materials have been used ordering specifications are complied with. Execution of instruments/systems as well as testing of accuracy was carried out following tecsis quality assurance procedures. Quality inspection was successfully passed. /Por la presente certificamos que los sistemas arriba mencionados se han fabricado de acuerdo a los estándares técnicos aprobados utilizando materiales que han superado las inspecciones. Las especificaciones del pedido han sido tenidas en cuenta. La ejecución y la precisión de indicación de los instrumentos / sistemas se han controlado en el marco del sistema de gestión de calidad de tecsis. La inspección de calidad se superó satisfactoriamente. /Con la presente certichiamo che i succitati sistemi/strumenti sono stati costruiti in accordo con le norme tecniche in vigore. Sono stati utilizzati esclusivamente materiali omologati. Sono state osservate le specifiche indicate nell'ordine. L'esecuzione e la precisione degli apparecchi/ sistemi sono state effettuate seguendo le procedure di garanzia e di qualità della tecsis. I controlli di qualità sono stati superati con successo.

tec sis GmbH

C. Stokowy

Prüfer / Inspector / Contrôler / Inspector / Ispettore

Offenbach / Main,

27.08.2013

Die oben ausgewiesenen Meßwerte wurden auf einer Prüfeinrichtung ermittelt, deren jedes einzelne Meßmittel einer regelmäßigen Prüfung unterliegt. Es ist somit die Rückführbarkeit nach ISO 9000 ff gewährleistet. /The above given values have been measured by means of a testing unit. All measuring devices are tested in regular terms and can be traced according to ISO 9000 and following. /Les valeurs de mesure indiquées ci-dessus ont été établies sur un équipement d'essai dont les différents moyens de mesure sont soumis à un contrôle régulier. La traçabilité suivant ISO 9000 et suiv. est ainsi acquise. /Los valores de medición arriba indicados se han obtenidos mediante un dispositivo de prueba cuyos medios de medición individuales están sometidos a inspecciones periódicas. Por lo tanto está garantizada la traceabilidad de acuerdo a ISO 9000 sig. /Ii valori di misura sopra indicati sono stati misurati mediante un dispositivo di prova. Tutti i dispositivi di misura sono stati sottoposti a regolare intervallo di controllo ed è pertanto garantita l'applicabilità secondo ISO 9000 e successive

tec sis GmbH

Carl-Legien-Str. 40-44
D-63073 Offenbach / Main
Tel.: +49(0)69 / 5805-0
Fax: +49(0)69 / 5806 181
E-Mail: info@tec sis.de Internet: www.tec sis.de

Sitz der Gesellschaft: Offenbach / Main
Registergericht: Offenbach / Main, HRB 40169
Geschäftsführer:
Reinhold Ost
Peter Ballweg

Z K4006369

2 (2)

DYWIDAG-SYSTEMS INTERNATIONAL Calibration Certificate

No.: 130129TS
Test according to DIN 1045-3 part 7.5 section 2
Run off validity: 6 Month



Testing Laboratory

Tensioning Jack Typ: L-HK-DZ-170-250-110-HP

Model/Type: CFRP Jack max. Force: 1700 KN Piston Area: 254,5 cm² Serial No.: 59.010.788

The testing was carried out in a "Universal Testing Jack" UBP 500-5000 kN.
Before calibration the tensioning jack was loaded during 60 seconds to 1.1 of the nominal load.

RESULTS

Test Temperature 18 Grad C

Load step	Test load KN	Reading on Pressure Gauge		3. Test bar	Average values bar	Difference		Control Values	
		1. Test bar	2. Test bar			Load step	Load range	Single values	
1	170	74	74	74	74,0				
2	340	139	139	139	139,0	65,0			
3	510	206	206	206	206,0	67,0			
4	680	273	273	273	273,0	67,0			
5	850	340	340	340	340,0	67,0			
6	1020	407	407	407	407,0	67,0			
7	1190	474	474	474	474,0	67,0			
8	1360	541	541	541	541,0	67,0	467,0	254,2	
9	1530	609	609	609	609,0	68,0	535,0	254,8	254,4
10	1700	675	676	676	675,7	66,7	601,7	254,3	0,01

After calibration the tensioning jack was loaded once more to a force of 1700 kN.
Reading at the pressure gauge 675,7 bar

This test result is according to DIN 51308

Computed as a average value of the load range
between 1. and 8. respectively 9. and 10. load steps.
Control value: 254,4

Königsbrunn 04.03.2013

Investigator I.A.

T. Seehuber Testing Laboratory

D. Ziemer Testing Laboratory

DYWIDAG-Systems International GmbH
Geschäftsführer:
Nicholas Moses, Johann Wlodkowski,
Torsten Engel, Dr. Christian Gläser

Steuer Nr.: 143/131/50764
UST-ID-Nr.: DE 814585547
Firmensitz: München
Handelsregister: München HRB 156367

Deutsche Bank AG, München
Kto 1651256 (BLZ 700 700 10)
BIC: DEUTDEMM
IBAN DE77 7007 0010 0165 1256 00



Zertifiziertes Qualitätsmanagement-System
nach DIN EN ISO 9001 Reg.-Nr.: 001376 GM